

# **Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft**

## **PTE Nr. 32**

Bericht über die im zweiten Halbjahr 2006  
vom BMBF und BMWi geförderten FuE-Arbeiten zur  
„Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formatio-  
nen“

Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe  
Wassertechnologie und Entsorgung  
(PTKA-WTE)

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH**  
Februar 2007

## **PTE-Berichte**

Der vorliegende Bericht dient der aktuellen Unterrichtung der Forschungsstellen, die im Rahmen des Förderkonzeptes „Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen“ FuE-Arbeiten durchführen, sowie der zuständigen Behörden.

Die im Rahmen des Förderkonzeptes „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“ durchgeführten FuE-Arbeiten werden ab 2001 in einer gesonderten Fortschrittsbericht-Reihe (S-Berichte) zusammengestellt.

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

## Vorwort

Die Forschungszentrum Karlsruhe GmbH hat im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) die Durchführung der Projektträgerschaft für den Programmbereich „Entsorgung“ übernommen. Dieser umfasst die FuE-Arbeiten, die im Förderkonzept „Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen“ und dessen Fortschreibungen aufgeführt sind. Unter Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen wird hierbei die Endlagerung radioaktiver und die untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle verstanden.

Im Rahmen dieses Auftrages betreut der Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe fachlich und administrativ die vom BMBF und BMWi im Rahmen des Förderkonzepts geförderten FuE-Vorhaben. Die Betreuung der FuE-Vorhaben erfolgt für folgende Referate in den beiden Ministerien:

Endlagerung radioaktiver Abfälle	BMWi Referat III B3
Untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle	BMBF Referat 724
Sicherheitsforschung für Bergbauregionen - Prozessanalyse und Prognosewerkzeuge für Bergschadensgebiete	BMBF Referat 724
Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung	BMWi Referat III B4

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

Dem Bericht liegt folgendes Gliederungsprinzip zugrunde:

Im Teil 1 sind die FuE-Vorhaben dem jeweiligen Themenbereich zugeordnet.

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

- E ⇒ „Endlagerung radioaktiver Abfälle“,
- C ⇒ „Untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle“ und  
„Sicherheitsforschung für Bergbauregionen - Prozessanalyse und  
Prognosewerkzeuge für Bergschadensgebiete“,
- W ⇒ „Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung“

Die vom BMWi betreuten FuE-Vorhaben, die so genannten Hausvorhaben, sind mit der Buchstabenfolge KWA gekennzeichnet.

Im Teil 3 sind die FuE-Vorhaben den jeweils ausführenden Forschungsstellen zugeordnet.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen .....</b>	<b>1</b>
1.1	<i>Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheits Gesichtspunkten .....</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien .....</i>	<i>5</i>
1.3	<i>Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung .....</i>	<i>13</i>
1.4	<i>Sicherheitsforschung für Bergbauregionen - Prozessanalyse und Prognosewerkzeuge für Bergschadensgebiete .....</i>	<i>15</i>
<b>2</b>	<b>Formalisierte Zwischenberichte .....</b>	<b>17</b>
2.1	E-VORHABEN .....	17
2.2	C-VORHABEN .....	151
2.3	W-VORHABEN .....	273
2.4	BMW-HAUSVORHABEN .....	277
<b>3</b>	<b>Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....</b>	<b>281</b>



# 1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen

## 1.1 Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten

<b>02 C 0973</b>	Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 158
<b>02 C 0983</b>	Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 160
<b>02 C 0993</b>	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und alumosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C bis 90° C	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 162
<b>02 C 1064</b>	Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken	<b>Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität, Weimar</b>	📖 176
<b>02 C 1074</b>	Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten	<b>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover</b>	📖 178
<b>02 C 1084</b>	Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems	<b>Bergische Universität Wuppertal</b>	📖 180
<b>02 C 1094</b>	Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit	<b>DMT GmbH, Essen</b>	📖 182
<b>02 C 1104</b>	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme	<b>Bauhaus-Universität Weimar</b>	📖 184
<b>02 C 1114</b>	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme	<b>Eberhard-Karls-Universität Tübingen</b>	📖 186

- |                  |  |  |       |
|------------------|--|--|-------|
| <b>02 C 1124</b> | Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke  | <b>TU Bergakademie Freiberg</b>  | 📖 188 |
| <b>02 C 1134</b> | Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern  | <b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>  | 📖 190 |
| <b>02 C 1184</b> | Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar   | <b>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München</b>     | 📖 200 |
| <b>02 C 1194</b> | Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchstfrequenz-Radar  | <b>TU Ilmenau</b>  | 📖 202 |
| <b>02 C 1204</b> | Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit); Teil 2: Erprobung von Funktionselementen in situ  | <b>GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH &amp; Co. KG</b>                              | 📖 204 |
| <b>02 C 1214</b> | Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesia-bindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar – Hauptprojekt  | <b>Kali-Umwelttechnik GmbH, Sondershausen</b>  | 📖 206 |
| <b>02 C 1224</b> | Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesia-bindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar. Teilprojekt Bauhaus Uni: Experimentelle Untersuchungen zur Struktur, dem Anbindeverhalten, der Kompressibilität und den volumetrischen Eigenschaften | <b>Bauhaus-Universität Weimar</b>  | 📖 208 |
| <b>02 C 1234</b> | Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesia-bindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar. Teilprojekt IfG: Untersuchungen der mechanischen Anforderungen und Eigenschaften   | <b>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>                                    | 📖 210 |
| <b>02 C 1305</b> | Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt Uni Leipzig: Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung  | <b>Universität Leipzig</b>   | 📖 224 |
| <b>02 C 1315</b> | Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt GGA: Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen                                   | <b>Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Hannover</b>           | 📖 226 |
| <b>02 C 1325</b> | Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt FhG: Sonarverfahren  | <b>Fraunhofer Gesellschaft z. Förderung d. angewandten Forschung e.V. (FhG), München</b> | 📖 228 |



<b>02 C 1335</b>	Qualifizierung von Strömungsbarrieren in Salzformationen, Phase 1 bis Phase 4	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 230
<b>02 C 1395</b>	Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 1	<b>Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut, Sondershausen</b>	📖 236
<b>02 C 1405</b>	Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 2	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 238
<b>02 C 1415</b>	Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 3	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 240
<b>02 C 1426</b>	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 242
<b>02 C 1436</b>	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZR	<b>Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden</b>	📖 244
<b>02 C 1446</b>	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben TU BAF	<b>TU Bergakademie Freiberg</b>	📖 246
<b>02 C 1456</b>	Bestimmung der Änderung des räumlichen und zeitlichen Ausbreitungsverhaltens von chemotoxischen Schwermetallen nach Wechselwirkung mit Natural Organic Matter (NOM) in geologischen Formationen von Untertagedeponien	<b>IIF e.V., Leipzig</b>	📖 248
<b>02 C 1566</b>	Grundlagenuntersuchungen zur Unterdrückung der Auflockerungszone in Strecken des Salinar	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 270
<b>02 E 9854</b>	Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1)	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 56
<b>02 E 9965</b>	Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 76
<b>02 E 9975</b>	Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 78

<b>02 E 9985</b>	Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall	<b>Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden</b>	📖 80
<b>02 E 10025</b>	Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung	<b>Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover</b>	📖 86
<b>02 E 10035</b>	Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden	<b>TU München</b>	📖 88
<b>02 E 10045</b>	Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 90
<b>02 E 10075</b>	Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lösungen bei Temperaturen bis 90° C – Kurztitel: FeT90	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 96
<b>02 E 10086</b>	Untersuchungen zur Auswirkung einer Temperaturerhöhung in Tonformationen in Deutschland im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit eines Endlagers und irreversible Veränderungen der potenziellen Wirtsfornation -TemTon-	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 98
<b>02 E 10286</b>	Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tongestein (ERATO)	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 138
<b>KWA 2003</b>	Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 278

## 1.2 Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien

<b>02 C 0922</b>	Verschlussystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität	<b>Universität Karlsruhe (TH)</b>	📖 152
<b>02 C 0932</b>	Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)	<b>IIF e.V., Leipzig</b>	📖 154
<b>02 C 0952</b>	Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 156
<b>02 C 1004</b>	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 1	<b>Dr. Andreas Hampel, Essenheim</b>	📖 164
<b>02 C 1014</b>	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 2	<b>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover</b>	📖 166
<b>02 C 1024</b>	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 3	<b>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>	📖 168
<b>02 C 1034</b>	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 170
<b>02 C 1044</b>	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5	<b>Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover</b>	📖 172
<b>02 C 1054</b>	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 6	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 174
<b>02 C 1144</b>	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (IS-DA-FZR)	<b>Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden</b>	📖 192
<b>02 C 1154</b>	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)	<b>DMT GmbH, Essen</b>	📖 194

<b>02 C 1164</b>	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 196
<b>02 C 1174</b>	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-EnviCon)	<b>EnviCon Dr. Veerhoff &amp; Scherschel GdR, Alfter</b>	📖 198
<b>02 C 1244</b>	Prognose der Redoxeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 212
<b>02 C 1254</b>	Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Depositionsfeld einer UTD	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 214
<b>02 C 1264</b>	Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salinarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss	<b>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>	📖 216
<b>02 C 1275</b>	Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt TUC: Gekoppelte Modellierung des C:HM Verhaltens von selbstverheilendem Salzversatz	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 218
<b>02 C 1285</b>	Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt GRS: Laborversuche und Geochemische Modellierung	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 220
<b>02 C 1295</b>	Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt Uni Tübingen: Validierung Numerischer Modelle für geochemische Prozesse in geotechnischen Dichteelementen	<b>Eberhard-Karls-Universität Tübingen</b>	📖 222
<b>02 C 1345</b>	Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle	<b>Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Freiburg</b>	📖 232
<b>02 C 1355</b>	Weiterentwicklung der EDV-Software INFIL zur Simulation des druckbetriebenen Infiltrationsprozesses von Fluiden in ein nicht permeables Barrierengebirge (Salinar)	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 234
<b>02 E 9390</b>	Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt "Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock - Phase II" FEBEX II	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 18
<b>02 E 9531</b>	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 20

<b>02 E 9653</b>	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit	<b>Johannes Gutenberg-Universität Mainz</b>	📖 22
<b>02 E 9663</b>	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Entwicklung und Einsatz von Radiotracer für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen	<b>IIF e.V., Leipzig</b>	📖 24
<b>02 E 9683</b>	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure - Metall - Kaolinit	<b>Universität des Saarlandes, Saarbrücken</b>	📖 26
<b>02 E 9703</b>	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen	<b>Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg</b>	📖 28
<b>02 E 9723</b>	Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 30
<b>02 E 9733</b>	Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 32
<b>02 E 9743</b>	Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 34
<b>02 E 9753</b>	Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracer	<b>IIF e.V., Leipzig</b>	📖 36
<b>02 E 9763</b>	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden	<b>TU München</b>	📖 38
<b>02 E 9773</b>	Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 40
<b>02 E 9783</b>	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 42
<b>02 E 9793</b>	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	<b>Öko-Institut e.V., Freiburg</b>	📖 44
<b>02 E 9803</b>	Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager	<b>FZ-Jülich</b>	📖 46

02 E 9813	Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 48
02 E 9824	Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 50
02 E 9834	Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 52
02 E 9844	NF-PRO5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 54
02 E 9874	Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 58
02 E 9884	Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 60
02 E 9894	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineralgemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 62
02 E 9904	Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 64
02 E 9914	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2, Kurzzeitentwicklung der EDZ	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 66
02 E 9924	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Humin-Metall-Komplexierung	Universität Potsdam	📖 68
02 E 9934	Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 70
02 E 9944	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 72
02 E 9954	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 74

<b>02 E 9984</b>	Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall	<b>Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden</b>	📖 80
<b>02 E 9995</b>	Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 82
<b>02 E 10015</b>	Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein	<b>Technische Universität Darmstadt</b>	📖 84
<b>02 E 10055</b>	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 92
<b>02 E 10065</b>	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 94
<b>02 E 10096</b>	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 100
<b>02 E 10106</b>	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 102
<b>02 E 10116</b>	Barriereintegrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs in Tonformationen (BET)	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 104
<b>02 E 10126</b>	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZ Karlsruhe	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 106
<b>02 E 10136</b>	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZR	<b>Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden</b>	📖 108
<b>02 E 10146</b>	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 110
<b>02 E 10156</b>	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton	<b>Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden</b>	📖 112
<b>02 E 10166</b>	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit natürlichem Tongestein	<b>Johannes Gutenberg-Universität Mainz</b>	📖 114


- |                   |   |  |       |
|-------------------|---|--|-------|
| <b>02 E 10176</b> | Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Beiträge zur Modellierung des Actinidentransports in potentiellen Wirtsgesteinsformationen; Teilthema 1: Mobilitätsbestimmende Elementarprozess; Teilthema 2: Einfluss heterogener Strukturen auf den Lösungs-Kolloidtransport | <b>IIF e.V., Leipzig</b>   | 📖 116 |
| <b>02 E 10186</b> | Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Quantenmechanische Modellierung von Aktinoidenkomplexen: Komplexierung durch Huminstoffe und Sorption an Tonmineralien   | <b>Technische Universität München</b>                                  | 📖 118 |
| <b>02 E 10196</b> | Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Untersuchungen zur Migration von Lanthaniden und Uran in natürlichen Tonformationen im Übergang von verdünnten Mineral-Suspensionen zu kompakten Tonen   | <b>Universität des Saarlandes, Saarbrücken</b>                         | 📖 120 |
| <b>02 E 10206</b> | Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Einfluss von tonorganischen Substanzen auf die Rückhaltung von Actiniden in der Tonbarriere  | <b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>                                | 📖 122 |
| <b>02 E 10216</b> | Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Spektroskopische Untersuchungen zum erweiterten Prozessverständnis in binären und ternären Huminstoff-Tongestein - Lanthanoid-Systemen: Thermodynamische und kinetische Kenngrößen   | <b>Universität Potsdam</b>   | 📖 124 |
| <b>02 E 10226</b> | Gasmigration im Opalinus Ton in Abhängigkeit vom Gasinjektionsdruck (unterhalb des Fracdruckes) Kurztitel: HG-C   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 126 |
| <b>02 E 10236</b> | Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 128 |
| <b>02 E 10246</b> | Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)  | <b>DBE Technology GmbH, Peine</b>                                      | 📖 130 |
| <b>02 E 10256</b> | Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)  | <b>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>                  | 📖 132 |
| <b>02 E 10266</b> | Numerische Modellierung der Dilatanz-induzierten, perkolativen Permeation in Salzgestein  | <b>Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Garching</b>      | 📖 134 |
| <b>02 E 10276</b> | Weiterentwicklung sicherheitsanalytischer Methoden zur Vorbereitung eines Safety Case in Deutschland -WESAM-  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 136 |
| <b>02 E 10296</b> | Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme $d^3f$ und $r^3t$ - Visualisierung und Datenanalyse  | <b>Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn</b>                  | 📖 140 |



- |                   |  |  |       |
|-------------------|--|--|-------|
| <b>02 E 10306</b> | Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme $d^3f$ und $r^3t$ - Entwicklung effizienter Diskretisierungsverfahren für die zu entwickelnden numerischen Verfahren zur Datenanalyse | <b>Albert-Ludwigs-Universität Freiburg</b>                             | 📖 142 |
| <b>02 E 10316</b> | Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme $d^3f$ und $r^3t$ - Skalierung von halinen und thermohalinen Strömungen   | <b>Friedrich-Schiller-Universität Jena</b>                             | 📖 144 |
| <b>02 E 10326</b> | Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme $d^3f$ und $r^3t$ - Modellierung des Wärmetransports und Modellierung freier Oberflächen  | <b>Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg</b>                           | 📖 146 |
| <b>02 E 10336</b> | Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme $d^3f$ und $r^3t$   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 148 |





### 1.3 Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung

**02 W 6243** Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen **Forschungszentrum Jülich GmbH**  274



#### 1.4 Sicherheitsforschung für Bergbauregionen - Prozessanalyse und Prognosewerkzeuge für Bergschadensgebiete

- |                  |   |  |       |
|------------------|---|--|-------|
| <b>02 C 1466</b> | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 1 (BTU): Hydrogeologie und Geochemie des Gesamtsystems  | <b>Brandenburgische Technische Universität Cottbus</b>   | 📖 250 |
| <b>02 C 1476</b> | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 2 (BGR): Geophysikalische Untersuchungen, Seismische Erkundung, Geologisches 3D-Modell, Bohrungen, Server-Datenbank, Koordination des Gesamtvorhabens | <b>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover</b>                           | 📖 252 |
| <b>02 C 1486</b> | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 3 (TUC): Geomechanische Modellierung  | <b>Technische Universität Clausthal</b>  | 📖 254 |
| <b>02 C 1496</b> | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 4 (K-UTECH): Grundlagen für Geomodellierung   | <b>Kali-Umwelttechnik GmbH, Sondershausen</b>  | 📖 256 |
| <b>02 C 1506</b> | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 5 (IHU): Erfassung, Bewertung und Darstellung der Strukturgeologie und Hydrochemie  | <b>IHU Geologie und Analytik Gesellschaft für Ingenieur-Hydro- und Umweltgeologie mbH, Stendal</b> | 📖 258 |
| <b>02 C 1516</b> | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 6 (WASY): Strömungs- und Transportmodellierung  | <b>WASY Gesellschaft für Wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH, Berlin</b>         | 📖 260 |
| <b>02 C 1526</b> | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 7 (JoGU): Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität  | <b>Johannes Gutenberg-Universität Mainz</b>  | 📖 262 |
| <b>02 C 1536</b> | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 8 (IIF): Tomographische Radiotraceruntersuchungen und Fluoreszenztraceruntersuchungen   | <b>IIF e.V., Leipzig</b>   | 📖 264 |

- 02 C 1546** Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 9 (GGA -S1): Deckgebirgseigenschaften über einem bergbaubedingt destabilisiertem Untergrund, abgeleitet aus seismischen Beobachtungen **Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Hannover**  266
- 02 C 1556** Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 10 (GGA -S3): Isotopenhydrologische Untersuchungen **Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Hannover**  268

## **2 Formalisierte Zwischenberichte**

### **2.1 E-Vorhaben**

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9390</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt "Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock - Phase II", FEBEX II			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 394.581,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Jockwer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Felslabor Grimsel führt ENRESA seit 1997 den Versuch FEBEX zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Granitformationen durch. Hierfür ist eine Versuchsstrecke angelegt worden, in die 2 elektrische Erhitzer installiert worden sind. Die Resthohlräume im Versuchsfeld sind mit Bentonitformsteinen versetzt worden.

Versuchsziel ist neben der Demonstration dieser Endlagermethode die Ermittlung der thermo-hydro-mechanischen und der chemisch-mineralogischen Prozesse im Versatzmaterial.

Im Jahre 2002 wurden für die Interpretation der bisherigen Versuchsergebnisse der Erhitzer 1 und das Versatzmaterial ausgebaut.

Da der Prozess der Aufsättigung der Bentonitformsteine mit Formationswasser noch nicht abgeschlossen ist, wird der Versuch am Erhitzer 2 fortgeführt.

GRS untersucht hierbei die Gasentwicklung und -ausbreitung in den Bentonitformsteinen. Hierfür wurden im Jahre 2003 im Versatz am Erhitzer 2 Edelstahlfilterrohre installiert, die ihrerseits zur Gasprobenahme, Gasinjektion und Porendruckmessung an eine Ventilstation mit Druckaufnehmer und Datenerfassungsanlage angeschlossen wurden.

Seit September 2003 werden die Messungen zur Gasfreisetzung im Versatz und der Gaspermeabilität des Versatzes erfolgreich fortgeführt. Die Messeinrichtungen und Auswerteverfahren sind aus den bisherigen Untersuchungen vorhanden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

- Laboruntersuchungen zur Gasentwicklung aus dem Bentonit
- Qualitative und quantitative Erfassung der Gasfreisetzung am Erhitzer 2
- Permeabilität des Versatzes um Erhitzer 2 in Abhängigkeit von der Zeit
- Erfassung des Innerporendruckes in Versatz infolge Gasfreisetzung



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

In 2006 zeigten sich weiterhin kein Druckaufbau und auch kein Wasser in den Filterrohren. Die Analyse der entnommenen Gase ergab einen Anstieg der Konzentration für die Komponenten:

- Kohlenwasserstoffe bis auf 16500 vpm (1,65 vol. %)
- Kohlendioxid bis auf 56200 vpm (5,62 vol. %)

und einen Abfall für die Komponenten:

- Wasserstoff bis auf 330 vpm
- Sauerstoffgehalt etwa 1 vol. %

Offensichtlich nimmt die Korrosionsrate unter Bildung von Wasserstoff ab und der Sauerstoff von ursprünglich 20 vol. % wird unter Bildung von Kohlendioxid verbraucht. Die Gesamtdurchlässigkeit des Versuchsfeldes und damit auch der Gasaustausch mit dem offenen Stollensystem nimmt langsam ab.

Im Dezember 2006 wurden Injektionstests zur Ermittlung der Gaspermeabilität durchgeführt. Obwohl eine detaillierte Auswertung noch erfolgen muss, ist zu erkennen, dass sich gegenüber der letztjährigen Messung nur wenig verändert hat. Die Aufsättigung des Bentonits schreitet also weiterhin sehr langsam fort.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weiterführung der Messungen zur Gasfreisetzung aus dem aufgeheizten Bentonitversatz.

Weiterführung der Messungen zum Gasdruckaufbau im Porenraum des aufgeheizten Bentonitversatzes.

Weiterführung und Auswertung der Messungen zur Permeabilität des aufgeheizten Bentonitversatzes.

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9531</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2001 bis 31.07.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.07.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 800.566,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Jobmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des Vorhabens besteht in der Charakterisierung des Effektes der thermischen Expansion der Tonformation auf die Deformation benachbarter Hohlräume anhand von Messungen mit faseroptischen Systemen und begleitenden numerischen Berechnungen. Gleichzeitig soll die Eignung der von DBE TECHNOLOGY entwickelten faseroptischen Sensoren in einer Tonformation demonstriert werden. Die in Computerprogrammen für sicherheitstechnische Auslegungsberechnungen verwendeten Stoffgesetze werden erweitert.

Dazu werden sowohl standortspezifische als auch Literaturdaten zusammengestellt. Mit Hilfe von Berechnungen werden die zu erwartenden Expansionseffekte ermittelt und die Messbereiche der Sensoren spezifiziert. Parallel dazu wird die korrekte Funktion der faseroptischen Sensoren im Vergleich mit konventionellen Systemen beim Einsatz im Untertagelabor der ANDRA in Bure überprüft. Die faseroptischen Sensoren bieten eine gute Möglichkeit, das thermische Expansionsverhalten in situ zu erfassen. Die Systementwicklung ist weit fortgeschritten und erste Tests unter In-situ-Bedingungen konnten erfolgreich durchgeführt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Projektmanagement
2. Materialverhalten
3. Faseroptische Mess-Systeme im URL in Bure
4. Referenzberechnungen
5. Berichtswesen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die ANDRA führte in Mont Terri einen Erhitzer-Vorversuch unter der Bezeichnung „Heater Experiment HE-D“ durch. Zur gleichen Zeit wurde im Untertagelabor in Bure im Rahmen des Schachtabteuf-Experimentes (REP-Versuch) die Gebirgsantwort auf den Abteufprozess ermittelt. An beiden Experimenten hat sich die DBE TECHNOLOGY gemäß der Vereinbarung mit ANDRA beteiligt.

Im verbliebenen Berichtszeitraum wurden die Experimente und die jeweiligen numerischen Analysen beider Versuche zusammenhängend betrachtet. Es wurden sowohl die gewonnenen Erkenntnisse als auch die noch offenen Fragen identifiziert. Letztere lassen sich in zwei Bereiche gliedern:

#### Offene Fragen im Rahmen von Labor- und In-situ-Untersuchungen bzw. der Modellbildung

- Grad der hydromechanischen Kopplung und Beschreibung durch Parameter
- Mechanismen der Schädigung und deren hydromechanische Konsequenzen
- Zeitabhängige Beschreibung des Schädigungsfortschrittes
- Ursache und Mechanismus der viskoplastischen Deformationen

#### Offene Fragen im Rahmen einer Modellierung

- Berücksichtigung der für die Problemstellung relevanten Eigenschaften:  
insbesondere Anisotropie mechanischer, thermischer und hydraulischer Parameter, Abhängigkeiten von Wassergehalt und Sättigung
- Damage theory (Schädigung als treibender Parameter zur Beschreibung des hydromechanischen Verhaltens)

Der Abschlussbericht wurde im Entwurf erstellt und dem Projektträger übersandt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Keine

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55099 Mainz		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9653</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 31.12.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 367.376,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Trautmann	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Erweiterung der thermodynamischen Datenbasis für Actiniden. Studien über den Einfluss des chemischen Milieus auf die Rückhaltung von Actiniden am Wirtsgestein Ton und über das Ausbreitungsverhalten der Actiniden nach der Freisetzung aus einem möglichen Tonendlager im Hinblick auf Sorption, Kolloid- und Komplexbildung. Als Modellmineral wird Kaolinit eingesetzt.

Bei dem o. a. Forschungsprojekt geht es um die Bestimmung thermodynamischer und kinetischer Daten für die Wechselwirkung von Np und Pu mit Huminstoffen und Kaolinit. Insbesondere sollen die Komplexbildung, das Redoxverhalten, die Speziation und die Sorption dieser Elemente sowie die Kinetik und die Reversibilität der genannten Prozesse untersucht werden.

Im Rahmen des Verbundprojekts besteht schwerpunktmäßig eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Radiochemie des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf und dem Institut für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Analytisch apparative Entwicklung mit der Kopplung CE-ICP-MS und CE-RIMS zur Ermittlung der Oxidationszustände des Np und Pu, auch bei sehr niedrigen Metallionenkonzentrationen; Bestimmung der Komplexbildungskonstanten für Pu-Huminstoff und kinetische Studien; Batchexperimente mit Np/Pu-Kaolinit und Einfluss von Huminstoffen; Säulenexperimente mit Np/Pu-Kaolinit, auch in Gegenwart von Huminstoffen; Säulenexperimente mit Np/Pu-Kaolinit und Huminstoffen; Speziationsuntersuchungen mit XPS, XANES und EXAFS in den Systemen Np/Pu-Kaolinit, Np/Pu-Huminstoff und Np/Pu-Kaolinit-Huminstoff.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Wechselwirkung von Pu(III) und Pu(IV) mit Kaolinit wurde mit XANES- und EXAFS-Spektroskopie weiter untersucht. Die Präparate mit Pu(III) wurden in Abwesenheit von Luft bei pH 6, 8 und 10 und mit Pu(IV) in Anwesenheit von Luft bei pH 6 hergestellt und anschließend bei ANKA vermessen. Dabei zeigte es sich, dass in allen Fällen das Plutonium in Form von Pu(IV) an Kaolinit sorbiert ist.

Die Studien zum ternären System Pu(IV)-Kaolinit-Huminsäure als Funktion von pH-Wert, Konzentration an Huminsäure und Reihenfolge der Zugabe der Komponenten wurden weitergeführt, wobei die Anwesenheit von Huminsäure einen großen Einfluss auf die Sorption von Pu(IV) an Kaolinit über den gesamten pH-Bereich hat. Vergleichende Versuche mit Th(IV) führten zu sehr ähnlichen Ergebnissen.

Die Sorption von Np(V) an Kaolinit wurde im pH-Bereich 8.5 bis 10.0 detailliert studiert. Sowohl bei der Ionenstärke 0.1 M NaClO<sub>4</sub> als auch 0.01 M NaClO<sub>4</sub> nimmt die Sorption von Np(V) an Kaolinit in Gegenwart von Luft ab pH 8.5 kontinuierlich ab bis zu einem Wert von 0 % bei pH 10.0. Die Ionenstärkeabhängigkeit der Oberflächenspeziation Np(V)/Kaolinit wird in einer Strahlzeit an der ESR (ROBL) im März 2007 genauer untersucht.

Die EXAFS-Messungen am System Np(V)/Hämatit ergaben eine mononukleare innersphärische, dem Aquoion ähnliche Oberflächenspezies, die eine bidentale Kantenverknüpfung mit FeO<sub>6</sub>-Oktaedern aufweist. Es konnte keinen Einfluss von CO<sub>2</sub> festgestellt werden und für die in der Literatur postulierte Spezies  $\equiv\text{FeONpO}_2(\text{O}_2\text{COH})_2^-$  wurden keine Hinweise gefunden.

Bei einer Festphasenkonzentration von 0.5 g · L<sup>-1</sup> ergab sich für die Sorption von Np(V) an Hämatit ein Sorptionsmaximum bei pH 8.5. Oberhalb dieses Maximums ist der Sorptionsverlauf ähnlich wie der beim Kaolinit; d. h. Abnahme der Sorption auf 0 % bei pH 10.0.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die in diesem Vorhaben geplanten Arbeiten sind abgeschlossen. Eine Weiterführung der Forschungsarbeiten mit Neptunium und Plutonium unter Berücksichtigung von natürlichem Tongestein erfolgt in dem neuen Verbundprojekt „Wechselwirkung und Transport von Actiniden im natürlichen Tongestein unter Berücksichtigung von Huminstoffen und Tonorganika – Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit natürlichem Tongestein“.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

*N.L. Banik, R.A. Buda, S. Bürger, J.V. Kratz, B. Kuczewski, N. Trautmann:*

Speciation of the Oxidation States of Np and Pu in Aqueous Solutions by CE-ICP-MS and CE-RIMS, in: Recent Advances in Actinide Science (I. May, R. Alvares, N. Bryan, eds.), The Royal Society of Chemistry, Cambridge 53 (2006)

*N.L. Banik, R.A. Buda, S. Bürger, J.V. Kratz, N. Trautmann:*

Speciation and Interactions of Plutonium with Humic Substances and Kaolinite in Aquifer Systems, J. Alloys and Compounds – Special Issue “Plutonium Futures – The Science 2006”, in press

*T. Reich, T. Ye. Reich, S. Amayri, J. Drebert, N.L. Banik, R.A. Buda, J.V. Kratz, N. Trautmann:*

Application of XAFS Spectroscopy to Actinide Environmental Science, American Institute of Physics, in press

*T. Ye. Reich, M.E. Korshunov, Ta. V. Antonova, A.L. Ageev, H. Moll, S. Amayri, T. Reich:*

New Regularization Method for EXAFS Analysis, American Institute of Physics, in press

*S. Amayri, M. Breckheimer, J. Drebert, T. Reich:*

EXAFS Study of Neptunium Sorption onto Hematite, Proc. Actinide –XAS-2006 Workshop, NEA-OECD, in press

*T.Ye. Reich, N.L. Banik, R.A. Buda, S. Amayri, J. Drebert, J.V. Kratz, N. Trautmann, A.L. Ageev, M.E. Korshunov, T. Reich:*

EXAFS Study of Plutonium Sorption onto Kaolinite, Proc. Actinide-XAS-2006 Workshop, NEA-OECD, in press

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9663</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Entwicklung und Einsatz von Radiotracern für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 31.08.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.08.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 371.126,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Lippold	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zielsetzung des Projektes besteht darin, den Einfluss von Huminstoffen auf die Fest-Flüssig-Verteilung mobilisierter Actiniden unter spezifischen Milieubedingungen zu charakterisieren, die durch potentielle Wirtsformationen (Ton, Granit) vorgegeben sind. Dabei werden verschiedenartige Huminstoffe in ihrer Wirkung verglichen. Besonderes Augenmerk wird auf die radioanalytische Vermessung des Einflusses von anthropogenen Kohlenstoffverbindungen und Fremdionen ( $\text{Fe}^{2+/3+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) gelegt. Die Auswirkungen dieser Faktoren auf die mobilitätsbestimmenden Elementarprozesse (Komplexbildung, Adsorption, Fällung) werden in Batch- und Säulenexperimenten quantitativ erfasst. Entwicklung und Einsatz von Radiotracern bieten einerseits den Zugang zu Messungen unter adäquaten Konzentrationsverhältnissen und gestatten andererseits orts aufgelöste Untersuchungen an geogenen Matrices unter Fließbedingungen mittels Positronen-Emissions-Tomographie. Durch Markierungsverfahren in Verbindung mit Trennmethode werden Wechselwirkungen innerhalb des Vielkomponentensystems gezielt untersucht. Das Projekt ist als Folgevorhaben von Projekt 02 E 9329 Bestandteil des Verbundvorhabens „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Beprobung, Präparation und Charakterisierung von geogenen Kohlenstoffverbindungen
- AP2: Markierung und radioanalytische Charakterisierung von geogenen und anthropogenen Kohlenstoffverbindungen mit geeigneten Radionukliden
- AP3: Studium der Wechselwirkung zwischen geogenen und anthropogenen Kohlenstoffverbindungen mittels Radiotracern
- AP4: Untersuchung des Einflusses von anthropogenen Kohlenstoffverbindungen auf die Komplexbildung und Sorption radioaktiver Schwermetalle mit geogenen Kohlenstoffverbindungen an relevanten Geomatrices (Kaolinit, Granit)
- AP5: Untersuchung der Komplexbildung und Sorption radioaktiver Schwermetalle mit geogenen Kohlenstoffverbindungen an Kaolinit und Granit hinsichtlich der Auswirkung von Versauerungsprozessen und Konkurrenzreaktionen / Flockungseffekten in Gegenwart von Eisen und Sulfat
- AP6: Dynamische Untersuchungen an Geomatrices zur Mobilität von Schwermetallspezies in Gegenwart von geogenen und anthropogenen Kohlenstoffverbindungen

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

Status der Arbeitspakete:

AP3: Untersuchungen zur Mischaggregation von Huminstoffen mit niedermolekularen Fremdorganika (Radiotracerexperimente mit  $^{14}\text{C}$ -markierten Verbindungen)

Ergebnisse:

Der Nachweis einer Wechselwirkung von Huminstoffkolloiden mit anionischen und nichtionischen Tensiden als Modellkomponenten für niedermolekulare DOC-Bestandteile konnte mittels Trennmethoden erbracht werden. Quantitative Aussagen sind jedoch aufgrund der relativ hohen Messunsicherheiten nicht möglich. Weitere zuverlässige Hinweise auf Aggregationsprozesse ergaben sich allerdings aus Löslichkeitsuntersuchungen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Keine  
(Abschluss des Projektes zum 31.08.2006)

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

Lippold, H., Evans, N.D.M., Warwick, P., Kupsch, H.: Competitive effect of iron(III) on metal complexation by humic substances: characterisation of ageing processes. *Chemosphere* (2007) in Druck

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität des Saarlandes, Campus Saarbrücken, 66123 Saarbrücken		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9683</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 31.12.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 316.197,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Beck	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In vorhergehenden Projekten wurden saline geologische Formationen im Hinblick auf ihre Eignung als Endlagerstätten untersucht. Im aktuellen Forschungsprojekt soll nun die Möglichkeit der Endlagerung in Tonformationen überprüft werden. Zielsetzung des Forschungsvorhabens ist die Bestimmung des Komplexbildungsverhaltens der Lanthaniden Eu und Gd mit Huminsäure in Gegenwart von Kaolinit als Modell-Tonmineral. Dabei wird die Komplexbildung bei verschiedenen Lanthaniden-Konzentrationen und unterschiedliche pH-Werten untersucht sowie auch der Einfluss natürlich vorhandener Konkurrenzkatzen wie Ca oder Mg berücksichtigt. Ein weiteres Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer geeigneten Speziationsanalytik, um kinetische und thermodynamische Informationen im komplexen System aus Metall, Huminsäure und anorganischem Kolloid zu liefern. Von den in diesem Verbund tätigen Institutionen haben wir eine besondere thematische Nähe und Kooperation mit folgenden Einrichtungen: Institut für Nukleare Entsorgung des FZKA; Institut für Radiochemie des FZR; Institut für Kernchemie der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz; Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung in Leipzig und dem Institut für Physikalische Chemie der Universität Potsdam.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Untersuchung der binären Systeme: Huminsäure (HS) / Kaolinit: Kinetik der HS-Sorption, Einflüsse von pH-Wert und Ionenstärke; HS / Metall: Speziationsanalytik, Komplexbildung ( $\log \beta$ ), Einfluss geochemischer Parameter; Metall / Kaolinit: Adsorptionsisothermen, Einflüsse auf Sorption / Desorption der Metalle; Untersuchung des ternären Systems: Einfluss von pH, Metall-Konzentration und Konkurrenzionen auf die Metall-Sorption an Kaolinit in Gegenwart von HS; Zusätzliche Arbeitspakete: ICP-MS-Markierung der HS; Überprüfung der Ultrafiltration.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Allgemein ergibt sich ein sehr ähnliches Verhalten von Eu und Gd in den untersuchten Systemen. Grundsätzlich kann eine Zunahme der HS-Sorption an Kaolinit bei sinkendem pH-Wert sowie bei höherer Ionenstärke (0,1 M NaClO<sub>4</sub>) bestimmt werden. Eine erhöhte Freisetzung von Al<sup>3+</sup> aus Kaolinit abhängig von pH-Wert (vor allem bei pH < 4 und pH > 9) und zunehmender Ionenstärke an NaClO<sub>4</sub> konnte beobachtet werden.

Erfolgreich erwies sich die Entwicklung und der anschließende Einsatz einer CE-ICP-MS Kopplung zur Speziationsanalytik im System Metall-HS. Die Bestimmung der Komplexbildungskonstanten ( $\log \beta_{LnHS}$ ) von Eu bzw. Gd mit Huminsäure erfolgte sowohl mittels CE-ICP-MS ( $6,41 \pm 0,08$  bzw.  $6,38 \pm$



0,03), als auch vergleichsweise mit Ultrafiltration und ICP-MS ( $6,64 \pm 0,04$  bzw.  $6,37 \pm 0,14$ ). Bei Anwesenheit von Ca und Mg (je 30 ppm) als Konkurrenzionen im System Metall-HS konnte eine Abnahme der Lanthanid-Komplexierung durch HS von 97 % auf 89 % bestimmt werden.

Eine Iodierung der verwendeten Aldrich-Huminsäure und damit die Möglichkeit der Bestimmung der iodierten Huminsäure neben den Metallen durch die ICP-MS wurde erfolgreich durchgeführt. Die Überprüfung der Ultrafiltration zur Abtrennung des HS-komplexierten vom nicht komplexierten Metall ergab eine Filteradsorption von nicht komplexiertem Metall (WF:  $75,7 \pm 4,1$  %) und einen Durchbruch kleinerer HS-Fractionen (und damit auch von komplexiertem Metall) insbesondere mit steigendem pH-Wert.

Im binären System Metall-Kaolinit konnte eine relativ höhere Metall-Desorption bei höherer Ausgangskonzentration an adsorbiertem Metall durch eine zunächst bevorzugte Belegung von "highly active sites" bei geringeren Metallbeladungen nachgewiesen werden. Aufgrund der Konkurrenzwirkung von Ca sowie Mg (je 30 ppm) ergab sich eine starke Desorption von Eu und Gd im System Metall-Kaolinit.

Die Untersuchung des ternären Systems (HS-Metall-Kaolinit) zeigte, dass eine niedrige Metallfracht in Verbindung mit huminsäurehaltigem Wasser nur zu einer geringen Metall-Sorption an Kaolinit führt. Ebenso bewirken höhere pH-Werte eine niedrigere Retardation der Lanthaniden an Kaolinit durch den höheren Anteil an negativ geladenen Metall-Humat-Komplexen. Im Gegensatz zum binären System Metall-Kaolinit konnte im ternären System durch die Kompensation der negativen Ladung der HS-Komplexe durch die Anwesenheit von Ca bzw. Mg als Konkurrenzionen eine verstärkte Sorption von Eu und Gd an Kaolinit beobachtet werden.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die in diesem Forschungsprojekt geplanten Arbeiten sind abgeschlossen. Eine Fortsetzung der Forschungsarbeiten mit Lanthaniden sowie Uran und natürlichem Tongestein inklusive Tonorganika erfolgt in einem neuen Verbundprojekt "Wechselwirkung und Transport von Actiniden im natürlichen Tongestein unter Berücksichtigung von Huminstoffen und Tonorganika - Untersuchungen zur Migration von Lanthaniden und Uran in natürlichen Tonformationen im Übergang von verdünnten Mineral-Suspensionen zu kompakten Tonen."

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Nowotka K. (2004): Kinetische und Thermodynamische Untersuchungen im System Huminsäure/Kaolinit. Diplomarbeit, Universität des Saarlandes.

Nowotka K., Kautenburger R. & H.P. Beck (2005): Speciation of europium and gadolinium complexes with humic acid by CE-ICP-MS. European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Budapest.

Kautenburger R., Nowotka K. & H.P. Beck (2005): Simultaneous analysis of free and humic acid complexed europium and gadolinium species by CE-ICP-MS. Migration'05: 10th International Conference on Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere, Avignon.

Kautenburger R., Nowotka K. & H.P. Beck (2006): Online analysis of europium and gadolinium species complexed or uncomplexed with humic acid by capillary electrophoresis-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 384 (6): 1416-1422.

Kautenburger R., Nowotka K. & H.P. Beck (2006): Iodination of humic acid as ICP-MS marker in speciation studies with lanthanides analyzed by CE-ICP-MS. *Proceedings of the 13th Meeting of the International Humic Substances Society 45-II*, 937-940.

Kautenburger R. & H.P. Beck (invited submission): Complexation studies with lanthanides and humic acids analysed by ultrafiltration and capillary electrophoresis - inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 69117 Heidelberg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9703</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 31.12.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 243.084,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Grunze	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist eine detaillierte Prozessaufklärung einerseits hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen dem Cm<sup>3+</sup> Ion und Huminsäure sowie hinsichtlich der Wechselwirkung von Huminsäure mit Tonmineraloberflächen und dem Einfluss der sorbierten Huminsäure auf die Tonmineralwechselwirkung mit Actinidionen.

Hierzu sollen folgende Teilaspekte untersucht werden: (i) Bestimmung der Stabilität und der photodynamischen Eigenschaften von Huminsäure bei Variation der Temperatur, (ii) Bestimmung der Sättigung von Humatliganden mit Tb<sup>3+</sup> bei verschiedenen Temperaturen und (iii) Untersuchung des Komplexierungsverhaltens von Cm<sup>3+</sup>, einschließlich Verteilung zwischen verschiedenen kinetischen Zuständen.

Im Rahmen des Verbundprojekts besteht schwerpunktmäßig eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe sowie dem Institut für Chemie (Arbeitsgruppe Physikalische Chemie) der Universität Potsdam.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- (i): Bei verschiedenen Temperaturen und Standzeiten aufbewahrte Huminsäurelösungen werden mittels UV/Vis-Spektroskopie untersucht, um mögliche Irreversibilitäten oder langsame kinetische Prozesse zu charakterisieren. Zusätzlich werden solche möglichen Veränderungen mittels zeitaufgelöster Fluoreszenzspektroskopie untersucht.
- (ii): Die Sättigungswerte der Humatliganden mit den untersuchten Metallionen werden sowohl mittels Ultrazentrifugation als auch direkt mittels TRLFS bestimmt. Es werden auch eventuelle kinetische Einflüsse bei erhöhter Reaktionstemperatur und bei verschiedenen Kontaktzeiten untersucht.
- (iii): Das Komplexbildungsverhalten von Cm<sup>3+</sup> wird bei konstanter Curiumkonzentration und bei variierender Temperatur auf Reversibilität/Kinetik mittels TRLFS untersucht. Proben mit Cm-Humat, die über verschiedene Zeiträume bei verschiedenen Temperaturen aufbewahrt worden sind, werden mittels Kationenaustausch bei der jeweiligen Temperatur hinsichtlich der Besetzung von verschiedenen kinetischen Zuständen/Modi charakterisiert.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die in den letzten Monaten durchgeführten Arbeiten konzentrierten sich auf eine weitere Verbesserung der Stabilität der Aluminiumoxidbeschichtung der Schwingquarzelektroden. Verglichen wurden dabei Oberflächen, die mit Aluminium bedampft bzw. besputtert wurden. In beiden Fällen diente eine 5 nm dicke Titanschicht als Haftvermittler. Entscheidend für die Wechselwirkung mit Huminstoffen ist die sich an der Oberfläche ausbildende natürliche Oxidschicht. Darüber hinaus wurden Schwingquarze von der Fa. TZO, Rheinbreitbach durch Hochfrequenzsputtern mit Aluminiumoxidschichten versehen. Alle Beschichtungstests fanden sowohl auf goldbeschichteten Schwingquarzelektroden statt als auch auf Schwingquarzelektroden, die über dem Goldfilm eine zusätzliche  $\text{SiO}_2$ -Schicht trugen.

Insgesamt ist festzustellen, dass durch die erzielten Verbesserungen in der Beschichtungstechnologie Schichtstabilitäten bis zu einigen Stunden erzielt werden können. Die besten Ergebnisse werden weiterhin durch Aufdampfen von 50 nm Aluminium auf Goldelektroden mit Hilfe einer hauseigenen Bedampfanlage erzielt. Bei pH 5 und 6.8 stimmen die mit Schwingquarzmessungen (QCM-D) *in situ* sowie Ellipsometrie und Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) *ex situ* bestimmten Werte gut überein. Bei pH 3 ergeben die QCM-D-Messungen eine deutlich höhere Schichtdicke. Dies ist vermutlich zumindest teilweise auf eine starke Hydratisierung des Huminstoffadsorbats zurückzuführen, welche nur von *in situ* Messtechniken erfasst wird.

Probleme für systematische Untersuchungen entstehen dadurch, dass die nachträglich mit Aluminium beschichteten Schwingquarze unterschiedliche Empfindlichkeitswerte gegenüber Huminstoffadsorption zeigen. Für präzise quantitative Studien wäre es daher wichtig, komplette Messserien mit demselben Sensor durchzuführen. Dies ist jedoch infolge der begrenzten Schichtstabilität nicht möglich. Es wurde daher beschlossen, systematische Untersuchungen zunächst mit der Modelloberfläche  $\text{SiO}_2$  durchzuführen. Derartig beschichtete Sensoren weisen eine wesentlich bessere Stabilität auf.

Bei der Reaktion von mit  $\text{SiO}_2$  beschichteten Sensoren bei Kontakt mit Huminstofflösungen unterschiedlicher Konzentration ist zu erkennen, dass die Endbedeckung mit zunehmender Huminstoffkonzentration zunimmt. Wie der Spülschritt mit Wasser zeigt, ist der Prozess nur bedingt reversibel, so dass nicht von einem vollständigen Adsorptions-Desorptions-Gleichgewicht ausgegangen werden kann. Erklären ließe sich das beobachtete Verhalten durch einen zweistufigen Adsorptionsprozess, bei dem sich die Huminstoffe zunächst in ihrer nativen Konformation anlagern und dann infolge ihrer Wechselwirkung mit der Oberfläche entfalten. Bei hohen Lösungskonzentrationen ist die Oberfläche schnell mit nativen Molekülen bedeckt, so dass nahezu keine Wechselwirkung bereits adsorbierter Moleküle mit unbedeckten Oberflächenbereichen stattfinden kann. Entfaltungsprozesse werden somit unterdrückt. Bei niedrigen Konzentrationen kann es hingegen zur Entfaltung der Huminstoffe kommen, so dass man eine effektiv dünnere Schicht und somit eine geringere Sensorreaktion erhält. Die Gültigkeit dieses Modells wird gegenwärtig überprüft.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Angesichts der Schwierigkeit, ausreichend stabile Aluminiumoxidbeschichtungen herzustellen, sind zunächst systematische Untersuchungen zur Konzentrations-, pH- und Temperaturabhängigkeit der Huminstoffadsorption an  $\text{SiO}_2$ -Oberflächen geplant. In einem weiteren Schritt wird der Einfluss von Gadolinium auf den Adsorptionsprozess studiert.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum sind keine Veröffentlichungen entstanden.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9723</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.09.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 30.09.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.004.366,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Moog

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bestehende Programme zur Kopplung von thermodynamischen Rechnungen mit Transportrechnungen sollen weiterentwickelt werden. Die (weiter-) entwickelten Programme und Datenbasen sollen für den Nahbereich von Endlagern mit sowohl hoch- als auch niedrigsalinaren Lösungen anwendbar sein. Die Datenbasis der thermodynamischen Rechnungen soll um bisher unberücksichtigte Elemente erweitert werden. Eine Literaturstudie soll Aufschluss über den möglichen Einfluss radiolytischer Prozesse auf das geochemische Milieu im Nahfeld eines Endlagers geben.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Datenbasis	1	Erweiterung
Radiolyse	2	Literaturstudie und Erarbeitung eines Quellterms
EQLINK	3.1	Berechnung der Lösungsdichte
	3.2	Erweiterung um GAS
	3.3	Volumenbilanz erstellen
	3.4	Implementierung einer Zeitschrittsteuerung in EQLINK
EMOS	4.1	Konzepte und Weiterentwicklung der Module
	4.2	Entwicklung Testfälle und Dokumentation
	4.3	Rechnungen und Dokumentation
CHEMAPP	5	Weiterentwicklung / Benchmarks / Vergleich mit EQ36

**3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Abfassung des Abschlussberichts

**4. Geplante Weiterarbeiten**

Keine

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

Abschlussbericht in Druck

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9733</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 31.12.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 748.584,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Jobmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In diesem Vorhaben wird untersucht, unter welchen Bedingungen und Voraussetzungen die Einlagerung von stark wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen in einer realen Tonformation in Deutschland möglich und sinnvoll ist. Ziel ist es, für alle zu betrachtenden Abfallarten bzw. Abfallgebilde eine Geometrie der Einlagerungskonfiguration unter optimaler Raumausnutzung zu bestimmen, ohne das thermische Belastungsgrenzen einer geotechnischen Barriere überschritten werden. Auf Grundlage dieser Konfiguration schließen sich Sicherheitsbetrachtungen hinsichtlich einer Hebung bzw. Senkung der Tagesoberfläche an, die aus der thermischen Expansion bzw. Kontraktion des beeinflussten Gebirgsbereiches entstehen.

Ein weiteres Ziel ist es, anhand von Untersuchungen zum thermo-mechanischen Verhalten des Gebirges, die bautechnische Machbarkeit des Endlagers in der betrachteten Tonformation zu bewerten. In diesem Zusammenhang werden Spannungsveränderungen und Verformungen von repräsentativen untertägigen Hohlräumen berechnet und die temperaturbedingten Änderungen quantifiziert.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Projektmanagement
2. Stoffgesetze und Parameter
3. Thermische Endlagerauslegung
4. Planung eines generischen Endlagers
5. Thermo-mechanisches Gesteinsverhalten
6. Gasbildung und dessen Einfluss
7. Berichtswesen

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

Im Rahmen des Vorhabens werden Auslegungsberechnungen für ein Endlager in einer Tonformation in verschiedenen Referenzregionen in Deutschland durchgeführt. Geeignete Referenzregionen befinden sich zum einen im süddeutschen Molassebecken innerhalb des so genannten Opalinustons sowie im Niedersächsischen Becken in den Unterkreide-Tonen und in einem Teil der Jura-Tone.

Sowohl für ein tief gelegenes Modellgebiet als auch ein Modellgebiet in geringer Teufe (Modelle Süd-1 und Nord-1) wurden vergleichende Stabilitätsanalysen zu den jeweiligen Strecken durchgeführt. Dabei wurde für das Konzept Bohrlochlagerung eine bergmännische Auffahrung und zur Sicherung eine 30 cm Betonschale gewählt. Für das Konzept Streckenlagerung wurde eine Auffahrung mittels Tunnelbohrmaschine und zur Sicherung Fertigbetonelemente gewählt. Unter Verwendung numerischer Berechnungsergebnisse wurden im Einzelnen Auflockerungszone, Druckspannung bzw. Biegemomentverteilung im Ausbau der gewählten Modellgebiete verglichen. Der thermische Einfluss der einzulagernden Behälter wurde in allen Berechnungen berücksichtigt. Die elastoplastischen Berechnungen weisen nach der Auffahrung stets eine Überbelastung des Streckenausbau für das Modellgebiet Süd-1 aus, während sich der Ausbau im Modellgebiet Nord-1 innerhalb seiner Grenzen möglicher Druckspannungen befindet. Der Wärmeeintrag der Behälter bewirkt eine Ausdehnung des Gebirges und damit zusätzliche Lasten für den Ausbau. Dadurch kommt es teilweise auch im Modellgebiet Nord-1 zu einer Überschreitung der zulässigen Druckspannungen im Ausbau. Dies sollte in eventuellen Langzeitsicherheitsnachweisen beachtet werden. Die thermischen Belastungen für den Streckenausbau sind größer bei Streckenlagerung als bei Bohrlochlagerung, da sich bei Streckenlagerung der wärmeentwickelnde Behälter innerhalb des Ausbaus befindet. Neben den elastoplastischen Betrachtungen wurden in den Berechnungen zu den Strecken der Bohrlochlagerung auch zeitabhängige Verformungen (Kriechen) einbezogen. Hierbei zeigte sich, dass den Kriechprozessen große Bedeutung beigemessen werden muss, da diese mit einer deutlichen zusätzlichen Belastung für den Ausbau aufgrund des Abbaus von deviatorischen Spannungen im Gebirge verbunden sind. In Berechnungen wurden im Beispiel eine Verdopplung der Druckspannungen im Ausbau nach wenigen Jahren ausgewiesen. Unter Einbeziehung der angenommenen zeitabhängigen Verformungen kommt es nach wenigen Jahren in allen Modellgebieten zu einer Überbeanspruchung der Streckenausbauten. Im Ergebnis zeigte sich, dass das Modellgebiet Nord-1 (-335 m) weniger kritisch für den Streckenausbau ist als das Modellgebiet Süd-1 (-790 m).

Mit der Erstellung des Abschlussberichtes wurde begonnen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Erstellung der Endfassung des Abschlussberichts

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9743</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2003 bis 30.06.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 544.748,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Jobmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es zum einen, faseroptische Temperatur-, Totaldruck- und Porenwasserdruck-Sensoren, die aus unterschiedlichen Materialien (Titan und Edelstahl) gefertigt sind, im Rahmen der auf 5 respektive 10 Jahre angesetzten Versuche im URL Äspö einem In-situ-Langzeittest unter hohen Temperaturen und in korrosiver Umgebung zu unterziehen. Zum anderen sollen die Messungen modelltheoretisch begleitet werden, um die gemessenen Werte im Modell nachvollziehen und somit das Verständnis bezüglich des thermo-hydro-mechanischen Verhaltens der mehrkomponentigen Barriere verbessern zu können.

Das Verhalten des Barrierematerials wird rechnerisch simuliert und mit den gemessenen Werten analysierend verglichen. Die Modellierung erfolgt dabei in drei Phasen. Da die Temperatur neben dem Wasserdruck eine wesentliche treibende Kraft ist, soll zunächst in einer rein thermischen Simulation die dreidimensionale Temperaturentwicklung innerhalb des gesamten Versuchsaufbaus analysiert werden, um eine Parameteridentifikation zu erarbeiten. In einer zweiten Phase soll das hydraulische und das thermo-mechanische Materialverhalten untersucht werden, um anschließend in einer dritten Phase gekoppelte THM Berechnungen auf Basis bisheriger Ergebnisse zur Versuchsanalyse durchführen zu können.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Projektmanagement
2. Messtechnische Datenerfassung
3. Modelltheoretische Versuchsbegleitung
4. Rückholung und Nachanalyse der Mess-Systeme
5. Berichtswesen



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die durchgeführten Arbeiten konzentrierten sich auf den Temperature-Buffer-Test. Dies ist ein Erhitzerversuch im Maßstab 1:1, bei dem zwei Behälter in einer kurzen vertikalen Bohrung im Granit eingelagert werden. Der untere Behälter ist mit Bentonit umgeben, der obere zunächst mit einer Sandschicht und dann mit Bentonit. Der Versuchsaufbau ist umfangreich mit Sensoren instrumentiert u. a. zur Messung von Temperaturen, Druck und Porenwasserdruck.

Im Rahmen der versuchsbegleitenden numerischen Analyse konnte durch eine weit gefasste Parametervariation das zeitabhängige dreidimensionale Temperaturverhalten mit einem plausiblen konsistenten Parametersatz an beiden Versuchselementen gut wiedergegeben werden.

Durch hydraulische Modellierungen konnte eine plausible Permeabilität gefunden werden, mit der zumindest das zeitliche Eintreffen einer Feuchtefront gut simuliert werden konnte. Anhand von Laborversuchen hat sich gezeigt, dass das hydraulische Verhalten, wie erwartet, deutlich auch durch Kapillarkräfte beeinflusst ist. Der Kapillardruck ist abhängig vom Sättigungsgrad im Bentonit und, wie Laborversuche zeigen, auch abhängig von der Temperatur und zwar vor allem im Bereich erhöhter Wassersättigung. Dieses Verhalten kann im verwendeten Modell derzeit noch nicht wiedergegeben werden.

Begonnen wurde mit Arbeiten zur thermo-mechanischen Analyse des Materialverhaltens. Dazu wurde zunächst ein vereinfachtes Modell gebaut um die temperaturinduzierte Druckentwicklung im Versuchsaufbau zu simulieren. Ergebnisse liegen dazu noch nicht vor.

Da bei diesem komplexen Problem die Vielzahl der Parameter eine große Anzahl von Berechnungsläufen erforderlich macht, wurde mit der Firma Itasca Consultants vereinbart, ihren Rechnerpark in Gelsenkirchen für diese Arbeiten zusätzlich zu nutzen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Kontinuierliche Erfassung und Analyse der Messdaten an den Sensoren.
- Durchführung zweidimensionaler Modellierungen zur Analyse und Bearbeitung des hydraulischen Verhaltens, insbesondere der sättigungs- und temperaturabhängigen Kapillardruckentwicklung. Es soll vor allem der Einfluss der Temperatur herausgearbeitet werden.
- Weiterentwicklung des numerischen Computermodells zur versuchsbegleitenden Modellierungen der gekoppelten thermo-hydro-mechanischen Prozesse innerhalb des Buffermaterials.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9753</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracern		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2003 bis 30.09.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 30.09.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 413.581,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Richter	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Projektes ist es, durch Anwendung der zerstörungsfreien Methode der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) einen detaillierten Einblick in die im Inneren von klüftigen Granitformationen ablaufenden Transport- und geochemischen Wechselwirkungsprozesse zu erhalten, die den bisher mit konventionellen Messmethoden oder anderen tomographischen Verfahren erzielten Erkenntnisstand wesentlich erweitern.

Durch Anwendung spezieller Tracer, die mit Positronenstrahlern markiert wurden, sollen an Bohrkernen, die aus potentiellen granitischen Wirtsgesteinsformationen gewonnen wurden, die räumliche Verteilung des Wasserflusses und das Transportverhalten gelöster Schadstoffkomponenten mittels PET-Messungen erfasst werden. Das Ziel besteht insbesondere darin, den Einfluss der Gefügestruktur auf diese Prozesse genauer aufzuklären und Beiträge zur Weiterentwicklung der Modellvorstellungen und zur exakteren Schätzung der Modellparameter zu liefern. In enger Kooperation mit dem FZK-INE und weiteren Partnern wird damit ein Beitrag zur Verbesserung der Prognosegrundlagen für das Langzeitverhalten eines Endlagers für radioaktive Stoffe in granitischen Formationen geleistet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Weiterentwicklung und Optimierung der Untersuchungsmethodik
- AP2: Untersuchung räumlicher Strömungs- und Geschwindigkeitsverteilungen der wässrigen Phase im klüftigen Granit
- AP3: Räumlich aufgelöste Untersuchung des Migrations- und Sorptionsverhaltens spezieller Komponenten
- AP4: Untersuchungen zum Kolloid-Transport im klüftigen Granit
- AP5: Bewertung der Ergebnisse unter dem Aspekt der Entwicklung von Rechenprogrammen zur prognostischen Bewertung der Langzeitsicherheit von granitischen Endlagerformationen

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

- Abschluss der Auswertung von PET-Messungen bei einer Fließgeschwindigkeit von 0,001ml/min zur Bewertung des Einflusses der Matrixdiffusion auf den Transport im Spalt.  
Ergebnis: Bestimmung der räumlichen Verteilung von hydrodynamischen Transportparametern im Spalt
- Abschluss der PET-Untersuchungen zur heterogenen Verteilung des Kolloidtransports im Spalt  
Ergebnis: Bestimmung lokaler Transportparameter von Huminstoff-Kolloiden im Spalt
- Aufbereitung und Auswertung der Daten zur Validierung und Parameterbestimmung der Modelle für den geochemischen Transport in heterogenen Systemen.  
Ergebnis: Übergabe der Daten an Kooperationspartner (Uni. Mainz; Institut für Geowissenschaften) zur Weiterentwicklung und Validierung von Transportmodellen
- Rückführung des Bohrkerns an FZK-INE zur Durchführung von weiteren Untersuchungen zum Aktinidentransport

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Fertigstellung des Abschlussberichtes

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstraße 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9763</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2003 bis 31.10.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.10.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 491.930,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kim	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Aufklärung von Bildungsmechanismen, Stabilität und Transport von Kolloiden, die die Ausbreitung von Actiniden im Nah- und Fernfeld eines Endlagers mitbestimmen können. Aufbauend auf den experimentellen Ergebnissen erfolgt die Quantifizierung und modellmäßige Beschreibung der kolloidgetragenen Actinidmigration. Das Forschungsprojekt wird in Kooperation und mit Unterstützung des Instituts für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK-INE) durchgeführt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP(I): Untersuchung der Bedingungen für die Bildung und Stabilität von Kolloiden  
 AP(II): Untersuchung der Wechselwirkung von Actiniden mit Kolloiden  
 AP(III): Studie des Migrationsverhaltens von Actiniden in kolloidalem Zustand

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In diesem Vorhabenszeitraum wurden innerhalb der Arbeitspakete I, II und III folgende Arbeiten durchgeführt:

#### **Bearbeitung des Themas: Bindung von Actiniden an Hydroxy-Aluminosilicat (HAS)-Kolloiden in Anwesenheit von Huminsäure**

In unseren vorangegangenen Arbeiten wurden die Bildungs- und Stabilitätsbedingungen von anorganischen Kolloiden, sowie die Inkorporation von Actiniden während des Kolloidbildungsprozesses untersucht. Betont wurde der Syntheseprozess zur Bildung von Kolloiden durch Conukleation von natürlichen Elementen mit hoher Oxidationsstufe in Lösung, weil dieser Kolloidentstehungsprozess eine maximale Wechselwirkung mit Actiniden gewährleistet. Als repräsentatives Modell-Experiment wurde die Synthese von HAS Kolloiden aus den häufigst vorkommenden Grundwasser-elementen (Si(IV) und Al(III)) in Anwesenheit von Actiniden unterschiedlicher Oxidationsstufe ( $^{241}\text{Am(III)}$ ,  $^{234}\text{Th(IV)}$ ,  $^{237}\text{Np(V)}$  und  $^{233}\text{U(VI)}$ ) gewählt. Anhand von radiometrischen Messungen, gekoppelt mit Filtration bei 450 nm und Ultrafiltration bei 1.5 nm, durch den Einsatz von der Laser-Induced-Breakdown-Detektion (LIBD), der Time-Resolved-Laser-Spektroskopie (TRLFS) und der Extended-X-ray-Fine-Structure-Spektroskopie (EXAFS), sowie mittels der EDTA-Liganden-Verdrängungsmethode wurde nachgewiesen, dass nur hydrolysierte Actinid-Spezies mit Si und Al eine Conukleation eingehen können. Dabei wurden nicht nur den thermodynamischen sondern auch den kinetischen Löslichkeits-Parametern die entscheidende Rolle zugeschrieben. Bei hohem pH, hoher Konzentration der beteiligten Elemente, nach langer Konditionierungszeit, bei erhöhter Temperatur, und bei einer Actinid-Oxidationsstufe in der Reihe:  $\text{Th(IV)} > \text{U(VI)} > \text{Am(III)} \gg \text{Np(V)}$ , wurde die optimale Actinid/HAS Bindungsaffinität durch maximale Element- (Actinid)- Hydrolysierbarkeit erreicht.

Nachfolgend wurde das 3-Komponenten Modell auf natürlichen Grundwasserbedingungen erweitert unter Einbezug von Huminsäure als häufigst vorkommende organische Komponente, die selbst großenteils als Kolloide vorliegt. Es wurde gezeigt, dass im 4-Komponenten System, Si/Al/Actinid/[ $^{14}\text{C}$ ]-Huminsäure, eine Competition zwischen zwei Liganden (Silicysäure und Huminsäure) um die Bindung mit jeweils zwei Metallionen (Al und Actinid) stattfindet. Es wurde nachgewiesen, dass die genannten Konkurrenzreaktionen generell zu einem erweiterten Stabilitätsbereich der Pseudokolloide von Actiniden führt. Dies wurde aus  $^{14}\text{C}$ - und Actinid-Inkorporationsmustern, die die jeweilige Aktivitätsfraktion in der kolloidalen Phase in Abhängigkeit des pH's unter Variation der Si- und Al-Konzentration nach verschiedenen Konditionierungszeiten wiedergeben, abgeleitet. Aus dem Vergleich der Aktivitäts-Inkorporationsmuster für die einzelnen Kolloide, entweder HAS oder Huminsäure, mit dem der beiden Kolloidarten zusammen, wurden Pa-

parameter-Bedingungen erkannt, wobei HAS und Huminkolloide durch synergistische Wirkung (Total mehr als die Summe) unlösliche Actinide (Am(III), Th(IV), U(VI)) in die kolloidale Phase transferieren. Dieser Hinweis auf das Vorliegen zweierlei Actinid/Kolloid-Bindungen, sowohl mit HAS- als auch mit Huminkolloiden, unter Bildung von einer einzigen Pseudokolloidhybrid-Actinid-Spezies wurde mit TRLFS für dreiwertige Actinide bestätigt.

Im hiesigen letzten Zeitraum des Vorhabens wurde die beobachtete synergistische Aktion von HAS und Huminkolloiden zur Bindung von Actiniden weiter untersucht. Die EDTA-Liganden-Verdrängungsmethode wurde eingesetzt, weil TRLFS nur beim fluoreszierenden Cm(III) in der notwendigen Sensitivität überhaupt möglich ist. In diesem Zusammenhang wurden zunächst EDTA-Desorptionstests an ausgewählten HAS/Humin-, HAS-, und Humin-Pseudokolloiden von Am(III) und Th(IV) durchgeführt. Desorptionskinetiken wurden bestimmt, und daraus die EDTA-resistente Fraktion (%) der kolloidgebundenen Actiniden ermittelt. Letztere wurde als die Aktivitätsfraktion definiert, die nach eintägigem EDTA-Kontakt nicht als lösliches EDTA-Actinid Komplex vorliegt. Aus der Positionierung der EDTA-resistenten Fraktion (%) der HAS/Humin Pseudokolloide zwischen den EDTA-resistenten Fraktionen (%) der einzelnen, entweder HAS- oder Humin Pseudokolloide, wurden die HAS- und Humin-gebundenen Anteile in den Pseudo-Mischkolloiden ermittelt.

Die unterschiedlichen Bindungsaffinitäten von Am(III) und Th(IV) für HAS- und Humin- Kolloiden, die andersartige Actinid/Kolloid Bindungsmechanismen spiegeln, wurden mit der unterschiedlichen Hydrolyse-Neigung von Am und Th in Verbindung gebracht. Folgende Erklärung für das oben genannte Ergebnis Beispiel wurde gegeben: Am(III) und Th(IV) liegen unter angegebenen Bedingungen als kationisch-hydrolysierte, bzw. vollständig hydrolysierte Spezies vor. Das wenig hydrolysierte Am kann von seiner hydrolysierten Seite aus, mit Si und Al eine Conukleation eingehen und gleichzeitig von der ionisierten Seite aus, auch mit Huminsäure chelatartig komplexieren. Der EDTA-Ligand, in Überschuß zugefügt, verdrängt den Huminsäure-Ligand. Das vollständig hydrolysierte Th dagegen, conukleiert extrem gut mit Si und Al. Das Fehlen einer kationischen Ladung in seiner Spezies verhindert jedoch eine Komplexierung mit Huminsäure oder EDTA.

Unter anderen Bedingungen, z. B. für Am oder Th in Wechselwirkung mit HAS Kolloiden, generiert auf der Basis von Monosilanol ( $10^{-3}$  M Si,  $10^{-4}$  M Al) und 6 mg/L Huminsäure bei pH 6.6 nach 35 Tagen Konditionierungszeit, wurde eine veränderte Verteilung von kolloid-gebundenem Actinid festgestellt. Für Am: 82.8 % Humin- und 17.2 % HAS-gebunden, während für Th: 37.0 % Humin- und 63.0 % HAS-gebunden. Das Ergebnis wurde als Bestätigung der These einer Korrelation zwischen Actinid/Kolloid Bindungsaffinität und Actinid-Hydrolyse angesehen und folgenderweise erklärt: bei niedrigerem pH und verringerter Si-Konzentration, wird sowohl bei Am als auch Th, die Hydrolyse-Neigung zurückgedrängt. Das Misch-Pseudokolloid von Am ist nun für einen größeren Anteil Humin-gebunden (82.8 vs 69.1 % Am-Humin) und Th wird von ausschließlich HAS-gebunden (0.0 % Th-Humin) zum Humin-Th-HAS Mischkolloid (37.0 % Th-Humin).

Aus den Resultaten wurde eindeutig gezeigt, dass Actinide in natürlichen Aquifersystemen die sowohl Si, Al (HAS Kolloide) als auch Huminsäure (Huminkolloide) beinhalten, voraussichtlich immer zu einem erheblichen Anteil kolloidgebunden vorliegen werden. Bei sich stets ändernden Bedingungen im offenen Umwelt-System, ändert sich zwar die Actinid-Spezies, auf der jedoch immer ein geeigneter Kolloid-Kandidat wartet, der nach einem passenden Mechanismus (Conukleation oder Chelat-Komplexierung) in Wechselwirkung treten kann.

#### **Zusammenstellung der Gesamt-Ergebnisse**

In diesem Vorhabenszeitraum wurden die Gesamt-Ergebnisse interpretiert und in Form einer Dissertationsarbeit, einer Habilitationsschrift, eines Abschlussberichtes, sowie in Publikationen zusammengefasst bzw. im Detail wiedergegeben.

#### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Keine Weiterarbeiten, da die Vorhabenslaufzeit am 31.10.2006 endete.

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

##### *Dissertation*

A. Priemyshev; "Formation of Colloids of Americium, Thorium and Aluminosilicates in Aquatic systems", Fakultät für Chemie, Technische Universität München (2004).

D. Breban, "Provenance and Characterization of Aquatic Actinide Colloids: Nucleation of Aluminosilicate Colloids with Actinides", Fakultät für Chemie und Geowissenschaften, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg (in preparation, 2006).

##### *Habilitationsschrift*

P.J. Panak, "Aquatische Chemie von Actiniden in natürlichen kolloidalen Systemen", Fakultät für Chemie und Geowissenschaften, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg (2006). U.a.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9773</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2003 bis 31.12.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.096.459,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Zhang	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die französische Endlagerorganisation ANDRA und das deutsche Forschungsinstitut GRS führen einen Aufheizversuch im Mt. Terri Untertagelabor zur Simulation der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle durch. Der Versuch bietet wegen seiner einfachen Auslegung eine gute Möglichkeit, die gegenwärtig verwendeten THM-Materialmodelle und Computerprogramme durch vergleichende numerische Simulation von In-situ-Versuch und Laborexperimenten zu überprüfen bzw. zu kalibrieren. Darüber hinaus werden Mehrfachpackersonden und speziell entwickelte Porendruck-Messsonden erprobt und qualifiziert. Durch orientierende Untersuchungen der advektiven Gasmigration in der Erhitzerumgebung wird der Frage nachgegangen, ob sich durch die Aufheizung eine erhöhte Durchlässigkeit des Gebirges und eine Austrocknung ergibt, die in Sicherheitsanalysen des Endlagers zu berücksichtigen wäre. Durch die Ergebnisse werden die Grundlagen für die Arbeiten zur Errichtung des Endlagers verbessert und der Vertrauensgrad des erforderlichen Sicherheitsnachweises gesteigert.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- a) Laboruntersuchungen zur Bestimmung des THM-Verhaltens des Opalinuston:
  - Langzeitige Kriechversuche bei erhöhten Temperaturen
  - THM-Triaxialversuche an Tonproben von D/L = 50/100 mm
  - THM-Simulationsversuche an großen Kernproben von D/L = 260/600 mm
- b) In-situ-Porenwasserdruckmessungen
- c) In-situ-Gasmigrationsmessungen
- d) Modellrechnungen für Planung und Analyse des In-situ-Versuches
- e) Erstellung des Abschlussberichtes.

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

Nach Beendigung der Auswertung aller Laboruntersuchungen, der In-situ-Messungen und der Modellrechnungen wurde der Abschlussbericht des Projekts mit folgenden Kapiteln erstellt:

- 1.) Einleitung
- 2.) In-situ-Aufheizexperiment  
Testplan, Instrumentierung, Messung von Temperatur, Deformation, Porenwasserdruck, Gasdruck, Permeabilität (Gas und Wasser) des In-situ-Experiments mit Temperaturerhöhung bis zu 100° C an der Kontaktfläche Erhitzer/Gebirge und Abkühlung auf Umgebungstemperatur von 15° C
- 3.) Laboruntersuchungen  
Probenentnahme und Charakterisierung, Versuche an Standardproben zur Bestimmung von Wasseraufnahmekurve, thermischer Ausdehnung, Spannung-Verformungsverhalten bei erhöhter Temperatur, temperaturabhängiger Kriechverformung, Quellung/Schrumpfung, thermisch-induzierter Änderung von Porenwasserdruck und Verformung und Technikumsversuche an Großproben zur Simulation des In-situ-Experiments
- 4.) Modellierung  
Darstellung der Theorie der THM-Kopplung bzw. der Stoffmodelle, Bestimmung der Modellparameter, Modellierung der großen Technikumsversuche, Prognoserechnungen und Simulationsrechnungen für das In-situ-Experiment
- 5.) Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Keine

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

Abschlussbericht des HE-D Projekts: Thermal Effects on the Opalinus Clay – A Joint Heating Experiment of ANDRA and GRS at the Mont Terri URL (im Druck).

ANDRA & GRS: Abschließender Synthesebericht des HE-D Experiments (im Druck).

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9783</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2003 bis 30.11.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 604.485,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Brewitz	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Handbuch der Endlagerung soll einen fachlichen Überblick über das in Deutschland auf dem Gebiet der Endlagerung bisher erreichte Wissen in allen für die Endlagerung relevanten Forschungsgebieten geben. Es soll dokumentieren, inwieweit die grundlegenden wissenschaftlichen und technischen Probleme der Endlagerung zum jetzigen Zeitpunkt gelöst sind, und wo noch offene Fragen vorhanden sind.

Aufgrund des breit angelegten Ansatzes und seiner übergreifenden Zielsetzung berührt das Vorhaben alle Themenbereiche des BMWi-Förderkonzeptes „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2002- 2006)“.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Vorbereitende Technische Arbeiten, mit Verhandlungen mit Verlagen, Festlegung von Formaten, Feingliederung und Definition von Schnittstellen, Ansprache möglicher Autoren, Terminplan zu Einzelkapiteln.

AP2: Erarbeitung von Einzelbeiträgen und Hauptkapiteln, mit Auftragsvergabe an Autoren, Erarbeitung von Teilkapiteln, Abstimmungsgesprächen, redaktioneller Überarbeitung, unabhängigem Qualitätsmanagement.

AP3: Arbeiten zur Drucklegung und Herausgabe, mit Zusammenstellung der Druckvorlage, Entwurfsabnahme durch Auftraggeber, Endredaktion, Vorbereitung und Durchführung von PR-Maßnahmen.



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

Im Berichtszeitraum (2. Halbjahr 2006) wurden insbesondere Teilleistungen aus AP2 (Erarbeitung von Einzelbeiträgen und Hauptkapiteln, Abstimmungsgespräche sowie redaktionelle Überarbeitung) erbracht. In Ergänzung der neu hinzugekommenen und nahezu vollständigen Teilkapitel (incl. Kap. 10) liegt mittlerweile auf Basis mehrtägiger redaktioneller Sitzungen zusammen mit dem Öko-Institut bereits eine Reihe von Teilkapiteln in überarbeiteter Form vor. Sämtliche Dokumente sind weiterhin auf einer gemeinsam zu nutzenden QuickPlace-Kommunikations-Plattform eingestellt, die nunmehr in einer neuen, benutzerfreundlicheren Version vorliegt. Darüber hinaus wurden weitere Kontakte zu externen Fachleuten aufgenommen bzw. fortgesetzt, die im Rahmen des Vorhabens unterstützend mitwirken sollen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die weiteren Arbeiten erfolgen i.W. im Rahmen der Arbeitspakete 1, 2 und 3. Für das 1. Halbjahr 2007 ist insbesondere vorgesehen, vereinzelt noch fehlende Teilkapitel fertig zu stellen. Für das umfassende Review wird ein Review-Team, bestehend aus Mitarbeitern der GRS, des Öko-Institutes sowie externen Fachleuten zusammengestellt. Auf Basis des Reviews wird dann - in Abstimmung mit dem Auftraggeber - der Zeitplan für die Überarbeitung festgelegt. Abstimmungen mit dem Verlag erfolgen unter der Zielsetzung eines Erscheinens des Handbuches als aktualisierungsfähiges Ringbuch zum 1. November 2007.

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Merzhauser Straße 173, 79100 Freiburg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9793</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2003 bis 30.11.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 624.916,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Sailer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Auf dem Gebiet der Endlagerforschung werden Arbeiten gefördert, die dazu dienen, technisch-wissenschaftliche Grundlagen für eine fundierte und nachvollziehbare Bewertung sicherheitsrelevanter Aspekte und Anforderungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle zu erarbeiten.

In dem vorliegenden Vorhaben soll, unter Nutzung der in Deutschland vorhandenen Expertise, eine zusammenschauende Darstellung der vorliegenden Kenntnisse und Erfahrungen erarbeitet werden. Dabei sollen auch, als Konsequenz aus politischen Entscheidungen, neben dem in den vergangenen Jahren überwiegend untersuchten Wirtsgestein Salz auch alternative Wirtsgesteine in die Zusammenstellung mit einbezogen werden.

Weil ein fachlicher Überblick über das in Deutschland auf dem Gebiet der Endlagerung bisher Erreichte nicht zugänglich ist, soll das zu erarbeitende Handbuch einen breiten Überblick über den Stand von Wissenschaft und Technik auf allen für die Endlagerung relevanten Feldern bieten.

Aufgrund des breit angelegten Ansatzes und seiner übergreifenden Zielsetzung berührt das Vorhaben alle Themenbereiche des BMWi-Förderkonzeptes „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2002- 2006)“.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### AP1: Vorbereitende Technische Arbeiten

Verhandlungen mit Verlagen, Festlegung des Druckformats, Entscheidungen zu Einbindung von Bildmaterial, Feingliederung und Definition von Schnittstellen, Ansprache möglicher Autoren, Terminplan zu Einzelkapiteln etc.

### AP2: Erarbeitung von Einzelbeiträgen und Hauptkapiteln

Erarbeitung von stichwortartigen Kapitel-Kurzbeschreibungen, Erarbeitung von Kapitel-Textversionen, Abstimmungsgespräche, redaktionelle Überarbeitung, Durchführung Redaktionssitzungen, unabhängiges Qualitätsmanagement, (ggf. Auftragsvergabe an "externe" Autoren).

AP3: Arbeiten zur Drucklegung und Herausgabe

Zusammenstellung der Druckvorlage, Berichterstattung zur Entwurfsabnahme durch Auftraggeber, Endredaktion, Absprachen mit Verlag, Vorbereitung und Durchführung von PR-Maßnahmen.

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

Im zweiten Halbjahr des Jahres 2006 wurden Teilleistungen aus AP2 erbracht. Zum Ende des Jahres 2006 lagen zu nahezu allen Kapitel-Textversionen vor. Insbesondere betrifft dies auch das Kapitel 10 des Endlagerhandbuchs. Durch den im ersten Halbjahr 2006 erfolgreich durchgeführten Workshop zum Thema „Wasserrecht“ konnten ebenso alle einschlägigen Kapitel dazu im zweiten Halbjahr 2006 fertig gestellt werden.

Zusammen mit dem Projektpartner Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH fanden in Klausur mehrtägige redaktionelle Sitzungen zu den Kapiteln des Endlagerhandbuchs statt. Als Ergebnis wurden erforderliche Überarbeitungen von Texten durchgeführt. Darüber hinaus erfolgten weitere Besprechungen zur Projektabwicklung zwischen den Projektpartnern GRS und Öko-Institut. Ein Teil der Projektbesprechungen fand zudem unter Beteiligung des BMWi und dem Projektträger statt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Für das erste Halbjahr 2007 ist im Wesentlichen ein externer und interner Review des Handbuchs zur Endlagerung und daran anschließend redaktionelle Überarbeitungen der Texte geplant. Darüber hinaus sind Arbeiten zur Vorbereitung des Druckes des Handbuchs zur Endlagerung geplant.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9803</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2003 bis 31.10.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.10.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 691.684,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Curtius	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Aquatische Phasen, die in den Wirtsgesteinsformationen möglicher Endlager vorliegen, können zur Korrosion von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) führen. Im Hinblick auf eine langfristige sichere Endlagerung muss geklärt werden, unter welchen Bedingungen es zur Radionuklidfreisetzung kommen kann.

Unser Projekt soll dazu beitragen,

- a.) das Korrosionsverhalten verschiedener FR-BE- Typen in unterschiedlichen aquatischen Phasen zu beschreiben,
- b.) die Remobilisierung der an den Korrosionsprodukten immobilisierten Radionuklide zu untersuchen und
- c.) die Eignung der Hydrotalkite (nachgewiesene Phasenbestandteile der Korrosionsprodukte von unbestrahlten metallischen Uran/Aluminium-FR-BE) als Isolationsmaterial für mobile Radionuklide zu prüfen.

Zusammenfassend sollen alle Ergebnisse zu einer Beurteilung der sicheren Endlagerung von bestrahlten FR-BE beitragen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Auslaugung bestrahlter Forschungsreaktor-Brennelemente unterschiedlicher Zusammensetzung in unterschiedlichen Formationswässern möglicher Endlager

AP2: Remobilisierung von Radionukliden aus Korrosionsrückständen

AP3: Sorptions- und Inkorporationsuntersuchungen mit endlagerrelevanten Radionukliden an Hydrotalkiten

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

- Zu AP1: Zusammenstellung der bisherigen Ergebnisse und Einbringen in den Abschlussbericht
- Zu AP2: Zusammenstellung der bisherigen Ergebnisse und Einbringen in den Abschlussbericht
- Zu AP3: Zusammenstellung der bisherigen Ergebnisse und Einbringen in den Abschlussbericht

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Abgabe des Abschlussberichtes

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9813</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2003 bis 31.07.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 773.470,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Rübel	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Instrumentariums zur Durchführung von Langzeitsicherheitsanalysen für Endlager in Tonformationen. Dieses soll die nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft relevanten Prozesse für die Langzeitsicherheit berücksichtigen.

Zu diesem Zweck werden Rechenprogramme entwickelt. Dabei wird von vorhandenen Transportprogrammen ausgegangen. Das Ton-Instrumentarium liefert einen wichtigen Beitrag, um zusammen mit den bestehenden Instrumentarien für Granit- und Salzformationen vergleichende Langzeitsicherheitsanalysen durchzuführen, die für bei zukünftigen Standortentscheidungen erforderlich sind.

Durch das Projekt TONI werden die Arbeiten in den Arbeitspaketen 3.3 und 3.4 im europäischen Projekt FUNMIG kofinanziert.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Arbeitspaket 1 werden das konzeptionelle und numerische Modell für Tonformationen entwickelt. Danach werden die Rechenprogramme GRAPOS, CHETMAD und  $r^3t$  weiterentwickelt und angepasst.

Im Arbeitspaket 2 werden die Rechenprogramme verifiziert und validiert. Dazu werden die Vergleiche mit analytischen Rechenfällen durchgeführt. Weiterhin werden zum einen natürliche Spurenstoffverteilungen an den Standorten Benken und Mont Terri und zum Anderen Bohrlochversuche aus dem Untertagelabor Mont Terri modelliert. In den Arbeitspaketen 3.3 und 3.4 des kofinanzierten Projekts FUNMIG werden diese Arbeiten fortgeführt und erweitert.

Im Arbeitspaket 3 wird basierend auf dem Endlagerkonzept aus den Forschungsvorhaben GEIST und GENESIS eine Systemstudie durchgeführt. Dabei werden mögliche Szenarien definiert und ein Referenzfall festgelegt. Mit Hilfe der neu entwickelten Rechenprogramme werden für das generische Endlager Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit durchgeführt. Durch Parametervariationen sollen Unsicherheiten bezüglich des Radionuklidtransports ermittelt werden.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Eine erste gekoppelte Version von  $r^3t$  mit PHREEQC wurde erstellt.
- AP2: Die Arbeiten zur Qualifizierung der Programme wurden bis auf die Tests zur Kopplung von  $r^3t$  und PHREEQC erfolgreich abgeschlossen. Die Spurenstoffprofile der stabilen Isotope und des Helium am Mont Terri konnten erfolgreich modelliert werden. Dabei wurden drei Fälle mit zunehmender Komplexität betrachtet: Die Verwendung homogener Transportparameter, die Verwendung einer variablen Porosität und die Berücksichtigung anisotroper Diffusion. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass die zunehmende Komplexität des Modells nicht zu einer besseren Übereinstimmung mit den Spurenstoffprofilen führt.
- AP3: Die deterministischen Rechnungen für die Langzeitsicherheitsanalyse für den Opalinuston und die Unterkreidetone wurden abgeschlossen. Mit dem in diesem Projekt neu entwickelten Code CLAYPOS wurden für beide Formationen Rechnungen durchgeführt und zwar jeweils für den Referenzfall und für 14 Parametervariationen. Als Ergebnis der Parametervariationen wurde festgestellt, dass die wichtigsten Parameter für den Schadstofftransport der Diffusionskoeffizient, die Formationsmächtigkeit und der Verteilungskoeffizient der Sorption sind.
- Der Referenzfall für den Opalinuston wurde zusätzlich unter Berücksichtigung einer komplexen Geometrie mit Hilfe von  $r^3t$  modelliert. Dabei zeigt sich, dass die Schadstoffströme durch das Programm CLAYPOS auf Grund der Vereinfachungen in der Geometrie weit überschätzt werden.
- Zusätzlich wurde eine alternative Entwicklung des Endlagers betrachtet. Diese berücksichtigt die Ausbreitung der Radionuklide durch eine einzelne Kluft. Die Berechnung der Radionuklidenausbreitung in der Kluft erfolgt durch das im Rahmen dieses Projektes erweiterten Programms CHETMAD.
- Die Erstellung des Abschlussberichts wurde begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Abschließen der Entwicklungsarbeiten am Modul CLAYPOS zur Durchführung probabilistischer Rechnungen.
- AP2: Durchführung von Testrechnungen zur Überprüfung der Kopplung von  $r^3t$  und PHREEQC. Als erster Schritt sollen dabei lediglich Ionenaustauschprozesse als geochemische Wechselwirkung betrachtet werden.
- AP3: Durchführung probabilistischer Rechnungen für den Langzeitsicherheitsnachweis. Dafür sollen etwa 1 000 Simulationen durchgeführt werden. Ein Vergleich mit den durchgeführten Parametervariationen soll zeigen, ob die Reihenfolge der Wichtigkeit der Parameter in beiden Untersuchungen übereinstimmt.
- Fertigstellung des Abschlussberichtes.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Vortrag und Veröffentlichung im Tagungsband zur Tagung Eurosafe 2006 in Paris mit dem Titel: Rübel, A.; Fein, E. : Application of the newly developed 3D transport code  $r^3t$  to selected field cases

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9824</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 30.06.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 231.130,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Jockwer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Forschungsbergwerk Asse sollen im Salzgestein auf der 800-m-Sohle, das für die geplante Endlagerung radioaktiver Abfälle repräsentativ ist, der advektive und diffusive Gastransport, der advektive Laugentransport und der Grad der Auflockerung, deren Anisotropie und Tiefe ermittelt werden, wobei die Messungen

- unter der ursprünglichen Sohle,
- unmittelbar nach der Entfernung des oberen Meters der Sohle unter der neuen Sohle
- und etwa zwei Jahre später unter der neuen Sohle

durchgeführt werden sollen. Durch diese Messungen erhält man Informationen der zeitlichen und örtlichen Entwicklung der Auflockerungszone und die Größe der hydraulischen Parameter für Gas und Lauge in diesem Bereich. Daten zur Auflockerungszone im Salzgestein werden für die Auslegung und den Bau von Dämmen, Abschlussbauwerken und Bohrlochverschlüssen im Endlager für radioaktive Abfälle benötigt. Insbesondere kann die Effektivität des Entfernens von Auflockerungszonen vor Einbringung eines Streckenverschlusses durch die Untersuchungen geprüft werden. Im Vorhaben ALOHA/BAMBUS II wurde ein Messverfahren entwickelt und erfolgreich getestet, um in Stoßnähe die Ausdehnung der Auflockerungszone und deren hydraulische Parameter für Gas und Lauge zu bestimmen. Dieses Verfahren soll angewandt und gegebenenfalls weiterentwickelt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Gasinjektionstests zur Bestimmung der Gaspermeabilität
- Tracertests mit Gasen unter Atmosphärendruck zur Bestimmung der Gasdiffusion
- Laugeninjektion zur Bestimmung der Laugenpermeabilität
- Geoelektrische Widerstandsmessungen zur Erfassung der Permeabilitätsanisotropie durch Ortung der Laugenausbreitung



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

An den Messplätzen A und B wurden die Geoelektrik-Messketten installiert und für die Laugeninjektion zur Messung der Laugenpermeabilität sowie -ausbreitung vorbereitet. Die Injektionstests werden voraussichtlich im Februar 2007 erfolgen.

Der Messplatz C ist für die Messung der Gasdiffusion und -permeabilität vorbereitet worden.

Neue Ergebnisse liegen nicht vor.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Messungen Laugenpermeabilität und -ausbreitung an den Messplatz A und B.

Messung der Gasdiffusion und -permeabilität am Messplatz C

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9834</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen - LUVEAT		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 207.286,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Zhang	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel der Arbeiten besteht in der Untersuchung potentieller Rissbildung und Störungen in Auflockerungszonen (ALZ) in Tonsteinformationen und der Möglichkeit ihrer Selbstheilung durch plastische Verformung und Quellung.

Im Rahmen des EU-Projektes NF-PRO wird die GRS in Abstimmung mit den Projektpartnern ein Arbeitsprogramm in der großen MTS-Presse im GRS-Labor an großen Tonkernen mit Zentralbohrungen unter relevanten hydromechanischen Bedingungen durchführen. Es werden die Auffahrung, Ventilation und Verfüllung von Schächten, Bohrlöchern und Strecken simuliert, wobei sich die Entstehung sowie die Entwicklung der Auflockerungszone im Tonkern infolge der Beanspruchung und schließlich die Heilung der ALZ nach der Verfüllung und Aufsättigung des Verfüllmaterials im Bohrloch beobachten lässt.

Mit dem Vorhaben werden die vorhandenen Grundlagen und Methoden für die Vorhersage der Dichtwirkung von Tonsteinbarrieren gegenüber schadstoffbelasteten Fluiden verbessert und weiterentwickelt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Entwicklung und Erprobung eines Versuchssystems
- Vorversuche zur Entwicklung/Verheilung der ALZ in gelochten Tonkernen mit  $D/d/L = 100/20/200$  mm
- Hauptversuche zur Entwicklung/Verheilung der ALZ in großen gelochten Tonkernen mit  $D/d/L = 280/55/600$  mm
- Modellrechnungen der Laborversuche

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Ein großer Versuch zur Abdichtung (Self-sealing) eines stark geschädigten Tonkerns mit einem Durchmesser von 260 mm und einer Länge von 600 mm wurde im Oktober 2006 gestartet. Der große Kern wurde mit der von GRS entwickelten Bohranlage im Untertagelabor Mont Terri erbohrt. Wegen der starken Schichtung des Tonsteins und der Spannungsrelaxation nach der Entnahme war die Probe sehr stark geschädigt. Die weitere Herstellung eines zentralen Bohrlochs in diesem Kern war daher nicht möglich und das ursprünglich geplante Versuchskonzept mit einem gelochten Großzylinder konnte nicht realisiert werden. Stattdessen wurde nun der Tonkern mit einer den In-situ-Verhältnissen in der Auflockerungszone vergleichbaren Schädigung im großen Versuch verwendet. Die folgenden drei Testphasen waren vorgesehen:

- Ermittlung der Gaspermeabilität in Abhängigkeit von der Belastung;
- Wasserinjektion zur Aufsättigung bzw. zur Bestimmung der Wasserpermeabilität;
- Untersuchung des Gasdurchbruchdrucks und der Gaspermeabilität nach Durchbruch.

Die erste Testphase zur Bestimmung der Gaspermeabilitätsmessungen ist abgeschlossen. Die Gaspermeabilität wurde in axialer Richtung entlang der Probe bei unterschiedlichen Belastungen und Injektionsdrücken gemessen. Die wesentlichen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die stark geschädigte Probe zeigt eine hohe Gaspermeabilität von  $10^{-13} \text{ m}^2$ ;
- Bei einem Manteldruck von 3 MPa wurde eine Abnahme der Gaspermeabilität von  $10^{-13} \text{ m}^2$  auf  $10^{-14} \text{ m}^2$  bei Erhöhung der Axialbelastung von 3 bis auf 19 MPa beobachtet;
- Unter konstanter Axialspannung von 19 MPa bewirkte die Erhöhung des Manteldrucks von 3 bis auf 18 MPa eine deutliche Reduzierung der Gaspermeabilität von  $10^{-14} \text{ m}^2$  auf  $10^{-19} \text{ m}^2$ ;
- Eine Entlastung der Axial- und Radialspannungen auf 3 MPa erhöhte die Gaspermeabilität von  $10^{-19} \text{ m}^2$  auf  $10^{-16} \text{ m}^2$ ;
- Bei konstanter hydrostatischer Spannung von 6 MPa nahm die Gaspermeabilität innerhalb von 22 Tagen von  $1 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$  auf  $6 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$  ab;
- Bei einem hohen Injektionsdruck von 0.5 MPa ist die Gaspermeabilität um etwa einen Faktor 2 – 3 größer als bei einem niedrigen Druck von 0.1 MPa.

Nach der Untersuchung der Gaspermeabilität wurde die Probe bei einer hydrostatischen Spannung von 3 MPa mit Formationswasser bei einem Wasserdruck von 1,5 MPa auf der unteren Probenseite beaufschlagt. Die Wasserleitung zur anderen Probenseite war geschlossen, um die Änderung des Wasserdrucks in der Probe beobachten zu können. Diese Testphase ist noch nicht abgeschlossen. Der gesamte Versuch wird Ende Januar 2007 beendet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung und Auswertung des großen Versuchs
- Modellierung des großen Versuchs

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Zhang, C.-L., Wiczorek, K., Rothfuchs, T. (2006): Experimental study on damage and self-sealing of indurated clays. Poster presentation for NF-PRO–Third Workshop, 14–16 Nov. 2006, Spain.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9844</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 130.168,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Becker	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben umfasst den Anteil der GRS am Unterprojekt 5 (RTDC 5) des von der Europäischen Kommission geförderten Projekts NF-PRO.

Einzelne, besonders relevante Effekte im Nahbereich von Endlagern für radioaktive Abfälle sollen im Hinblick auf eine spätere Berücksichtigung in Rechenprogrammen zur Analyse der Langzeitsicherheit identifiziert werden. Dazu werden existierende Studien und die parallel laufenden Arbeiten des Gesamtprojekts NF-PRO ausgewertet. Die identifizierten Prozesse werden in phänomenologische Modelle umgesetzt. Rechenschemata zur Berechnung von Massenbilanzen und Massenströmen werden erarbeitet und angewendet. Anhand der Ergebnisse werden wechselseitige Einflüsse zwischen geochemischen und Transportvorgängen abgeschätzt und bewertet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Der Anteil der GRS wird in mehreren Arbeitsschritten durchgeführt.

AP5.1: Phänomenologische Analyse von Nahfeldprozessen.

AP5.1.1: Identifikation wichtiger Nahfeldprozesse. Anhand existierender Studien und gestützt auf Erkenntnisse aus den Unterprojekten 1 bis 4 werden bedeutsame Prozesse identifiziert und in phänomenologische Modelle umgesetzt. Die GRS befasst sich dabei mit abgebrannten Brennelementen in Stahlbehältern in Ton- und Salzformationen.

AP5.1.2: Massenbilanzen und Massenströme. Für Massenbilanzen und Massenströme von Substanzen, die aus den Bestandteilen der Abfälle und Versatzstoffe gelöst werden, werden Rechenschemata erarbeitet und auf existierende Studien angewandt. Anhand der Resultate wird die Bedeutung des wechselseitigen Einflusses zwischen geochemischen und Transportprozessen bewertet.

AP5.1.3: Teilnahme an Projektworkshops.

AP5.2: Zusammenführung und Auswertung der Ergebnisse aller Unterprojekte.

Die GRS trägt zum Arbeitspaket durch Teilnahme an Diskussionen und Mitarbeit an der Dokumentation bei.

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

In der Komponente 5 des Gesamtprojekts wurden im Berichtszeitraum von allen teilnehmenden Organisationen die Modellrechnungen zu bestimmten Nahfeldprozessen weitergeführt. Während die Arbeiten der GRS sich vorwiegend auf das Wirtsgestein Salz konzentrierten, wurden von den anderen Projektpartnern ausschließlich Ton- und Granit untersucht. Die Zwischenberichte wurden fertig gestellt (Reports on mass balances and energy flows). Mit der Planung des gemeinsamen Abschlussberichts, der sowohl die Ergebnisse der Komponente 5 zusammenfassen als auch Schlussfolgerungen aus dem Gesamtprojekt ziehen soll (Synthesis Report) wurde begonnen.

Von Seiten der GRS wurden die zeitabhängigen Modellrechnungen für einfache Endlagerstrukturen in einer Salzformation fortgeführt und verfeinert. Es wurden weitere vereinfachte Szenarien für Einlagerungsbohrlöcher und -strecken untersucht. Die Ergebnisse wurden im Hinblick auf ihre Relevanz für künftige Langzeitsicherheitsuntersuchungen bewertet. Für eine eingehendere Analyse wurde eine realistische Grubengebäudestruktur für ein Endlager im Salz entworfen, erste Testrechnungen dazu wurden durchgeführt.

Die durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse wurden auf dem 3. Projektworkshop präsentiert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Auf Basis der Ergebnisse anderer Projektpartner soll ein realistischer Korrosionsansatz eingebaut werden.

Überprüfung der Modelle hinsichtlich Anwendbarkeit auf Tonformationen und Durchführung erforderlicher Modifikationen am Rahmenprogramm sowie an den Modellprogrammen.

Durchführung von integrierten Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit eines exemplarischen generischen Endlagers.

Erstellung einer ausführlichen Dokumentation als Projekt-Deliverable.

Mitarbeit am Projektabschlussbericht.

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

Poster und Paper zum 3. NF-PRO-Projektworkshop:

Dirk-Alexander Becker, Rolf-Peter Hirsekorn: Coupled Modelling of Convergence, Steel Corrosion, Gas Production and Brine Flow in a Rock Salt Repository

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9854</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL)			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.02.2004 bis 31.01.2009		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.799.659,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Filbert	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens ist die Entwicklung und die Erprobung eines technisch machbaren Konzeptes zur Endlagerung gezogener Brennstäbe aus unzerschnittenen Brennelementen in vertikale Bohrlöcher. In der Phase 1 soll durch eine Machbarkeitsanalyse untersucht werden, unter welchen Randbedingungen der vollständige Zyklus der Einlagerung von mit unzerschnittenen Brennstäben beladenen Kokillen erfolgen kann. Untersucht werden sollen der Transport über Tage, die Schachtförderung, der Transport unter Tage und letztendlich die Einlagerung in einem vertikalen Bohrloch. Daraus sollen Anforderungen an die Komponenten zur Einlagerung erarbeitet, notwendige Untersuchungsschwerpunkte herausgestellt und ein technisches Konzept abgeleitet werden. Die Phase 1 schließt nach der Konzeptplanung mit einer Entwurfsplanung zum ausgewählten Konzept ab.

Das Vorhaben wird durch die EU mitgefördert und ist im Rahmen des 6. EU-Rahmenprogramms (2002 – 2006) in das integrierte Projekt IP ESDRED (Engineering Studies and Demonstration of Repository Designs) eingebunden. In der Phase 2 werden die Versuchskomponenten bis zur Ausführungsreife geplant, gefertigt und zusammen mit den vorhandenen Komponenten Plateauwagen und Einlagerungslokomotive für den Demonstrationsversuch bereitgestellt. Im Einzelnen soll die technische Machbarkeit nachgewiesen, die Sicherheit in der Betriebsphase durch hinreichend viele Demonstrationsversuche überprüft und Ableitungen für die Sicherheit in der Nachbetriebsphase getroffen werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

„Phase 1“ des Vorhabens:

AP1: Grundlagenermittlung: Die Grundlagen und Randbedingungen für die technischen Komponenten des Einlagerungssystems werden im Rahmen der Kooperation des IP ESDRED zusammengestellt und abgestimmt. Der Entwicklungsbedarf für relevante Komponenten wird ermittelt und die Verwendbarkeit vorhandener Komponenten geprüft.

AP2: Konzeptplanung: Es werden Konzeptionen für das Gesamtsystem der Einlagerung von Brennstabkokillen in tiefe vertikale Bohrlöcher entwickelt und das zur Realisierung, gemäß den Anforderungen aussichtsreichste, über ein Bewertungsverfahren ermittelt.

AP3: Entwurfsplanung: Das in der Konzeptplanung entwickelte und ausgewählte Gesamtsystem zur Einlagerung von Brennstabkokillen und dessen Komponenten werden in Entwurfsplanungstiefe bearbeitet. Eine durchzuführende Betriebsstörungsanalyse ermöglicht die Überprüfung des Gesamtsystems auf Schwachstellen. Mit der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen für Ausführungsplanung und Fertigung von Komponenten wird die Phase 1 des Projektes abgeschlossen.

„Phase 2“ des Vorhabens:

AP4: Ausführungsplanung: Das in der Entwurfsplanung entwickelte und ausgewählte Gesamtsystem zur Einlagerung von Brennstabkockillen wird in Ausführungsplanungstiefe bearbeitet.

AP5: Fertigung der Komponenten: Im Arbeitspaket werden die Komponenten gefertigt und zusammen mit den vorhandenen Komponenten am Versuchsort aufgebaut.

AP6: Versuchsdurchführung: In einem überträgigen Versuchsstand wird der Einlagerungsvorgang mit allen Komponenten unter realitätsnahen Bedingungen demonstriert und die Zuverlässigkeit überprüft.

AP7: Versuchsauswertung: Im Arbeitspaket erfolgt die Versuchsauswertung und die Erstellung des Abschlussberichtes.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP3: Der Bericht zur Entwurfsplanung des gesamten Einlagerungssystems wurde durch die EU-Kommission abgenommen und dem Projektträger PTKA-WTE übersandt.

Für die Komponente Plateauwagen wurde die Entwurfsplanung ausgeschrieben. Der ausgewählte und beauftragte Auftragnehmer schloss in 2006 die Entwurfsplanung mit folgenden Ergebnissen ab: Die Länge des Plateauwagens über Puffer ist 6.150 mm, die Gesamtbreite beträgt 2.200 mm bei einer Spurweite von 1.990 mm, und die Gesamtmasse wird ca. 9 t sein. Die Bauart ist 4-achsig mit zwei zentral gelagerten Drehgestellen. Mit der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen für Ausführungsplanung und Bau des Plateauwagens wurde begonnen.

AP4 und AP5: Die Vereinbarungen mit der kerntechnischen Industrie hinsichtlich der Finanzierung der Ausführungsplanung und des Baus der Komponente interner Transferbehälter sowie des Baus der Komponenten Einlagerungsvorrichtung, Bohrlochschleuse und Plateauwagen wurden vertraglich fixiert.

Die Arbeiten zur Ausführungsplanung des Transferbehälters auf der Basis eines gemeinsam mit der kerntechnischen Industrie erstellten Lastenheftes wurden aufgenommen. Weiterhin wurde die kerntechnische Industrie mit der Ausführungsplanung der Bohrlochschleuse beauftragt, da die Auslegungsrechnungen des Transferbehälters weitgehend übertragbar sind.

Die Ausführungsplanung für die Einlagerungsvorrichtung wurde bis auf die Schnittstelle Abschirmhaube zum Transferbehälter und Bohrlochschleuse zur Einlagerungsvorrichtung abgeschlossen. Die ermittelten Maße sind in der Länge ca. 12,2 m, in der Breite ca. 4,7 m sowie eine Transporthöhe von ca. 5,3 m bei einer max. Höhe in Arbeitsstellung von ca. 5,7 m. Das Gesamtgewicht beträgt ca. 65 t. Die Industrie hat die Planung eines BSK 3-Dummy begonnen, um diesen zum vorgesehenen Versuchsprogramm Anfang 2008 beizustellen. Der Dummy wird sowohl geometrisch als auch hinsichtlich der Hantierungsmasse und der Schwerpunktlage die Daten einer originalen Brennstabkockille aufweisen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Erstellung eines Statusberichtes im Frühjahr 2007 für die EU-Kommission.
- Ausschreibung der Ausführungsplanung und Bau des Plateauwagens.
- Beginn des Baus des Transferbehälters, der Einlagerungsvorrichtung und der Bohrschleuse.
- Begutachtung der Ausführungsplanung aller relevanten Komponenten.
- Vorbereitende Arbeiten zur Herrichtung des Versuchsortes.
- Beginn der Ausführungsplanung und Bau des Plateauwagens.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 E 9874</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 81.058,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Popp	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Tongesteine stellen aufgrund ihrer Barrierewirkung ein potentiell Wirtsgestein für Endlagerkonzepte basierend auf einem dichten Einschluss dar. Aus Sicht der Langzeitsicherheit sind aber die vorliegenden Ergebnisse für Endlager in Ton- oder Tonformationen nicht ausreichend. Ziel des Vorhabens ist die Gewinnung hinreichender Laborparameter zur Entwicklung geeigneter Stoffgesetze, die über eine numerische Simulation des mechanischen und hydraulischen Verhaltens eine Vorhersage der ALZ für das umgebende Gebirge beim Betrieb eines Endlagers erlauben.

Unter Berücksichtigung der schichtgebundenen Gefügeanisotropie sollen richtungsabhängige gesteinsmechanische Parameter bestimmt werden. Die Untersuchungen umfassen sowohl Triaxialexperimente mit simultaner Bestimmung von Dilatanz und Messung von  $V_p$  und  $V_s$ , als auch die Bestimmung der Scherfestigkeit von Schichtflächen im direkten Scherexperiment unter Berücksichtigung von Porendruckeffekten.

Davon ausgehend können vorhandene Stoffansätze modifiziert und entsprechend der Problematik an Tongesteine angepasst werden.

Das Vorhaben wird im Rahmen des internationalen 6. EU-Rahmenprogramms (Key-Processes in the Near-Field) durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Koordination der experimentellen Arbeiten und Probenahme.
- AP2: Darstellung des aktuellen Kenntnisstandes zum gesteinsmechanischen Verhalten von Tongesteinen.
- AP3: Mineralogisch-petrographische und gesteinsphysikalische Charakterisierung des vorliegenden Probenmaterials.
- AP4: Umbau und Erweiterung der bestehenden Prüfeinrichtungen auf die Anforderungen von Tongesteinen.
- AP5: Untersuchungen in der Triaxialapparatur bei erhöhten Manteldrücken.
- AP6: Verformungsversuche im direkten Schergerät zur Bestimmung der Mohr-Coulomb Scherparameter.
- AP7: Umsetzung der gebirgsmechanischen Parameter in Modellrechnungen.
- AP8: Zusammenstellung der Ergebnisse und Berichtserstellung.



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP5: Die Festigkeitsuntersuchungen an Opalinustonproben in der Triaxialzelle mit gleichzeitiger Messung der Volumendehnung, der Permeabilität und der Ultraschallgeschwindigkeiten bei verschiedenen Einspannungen wurden abgeschlossen. Insgesamt steht damit zur Beschreibung der mechanischen und hydraulischen Eigenschaften ein sehr konsistenter Datensatz zur Verfügung, der für die Bestimmung der Stoffgesetzparameter für das MINKLEY-Modell genutzt wurde.

Einen Schwerpunkt der Arbeiten bildete die Untersuchung des Dilatanzverhaltens im Sinne des Dilatanzkonzeptes, wie es für Steinsalz erfolgreich entwickelt wurde. Infolge der Überlagerung der Dilatanzentwicklung durch Kompaktionseffekte senkrecht zur Schichtung ist aber bei Tongesteinen eine exakte Bestimmung des Einsetzens dilatanzinduzierter Mikrorissbildung schwierig, während das sensitivere Ultraschallmessverfahren bereits bei geringeren Spannungen einen Effekt erkennen lässt. Somit wurden eine untere Schädigungs- sowie eine relativ höher liegende Dilatanzgrenze ausgewiesen:

$$\sigma_{\text{initial damage}} \approx 0.5 - 0.6 * \sigma_{\text{peak}} \quad \text{resp.} \quad \sigma_{\text{dilatancy}} \approx 0.8 - 0.9 * \sigma_{\text{peak}} .$$

Da die Rissbildung räumlich begrenzt ist, bleibt die hydraulische Integrität des Gesteins weitestgehend erhalten.

AP7: Ausgehend von den durchgeführten triaxialen Festigkeits- und direkten Scherversuchen wurden die für die Durchführung der Modellrechnungen notwendigen Materialparameter bestimmt, wobei die Eigenschaften der Gesteinsmatrix mit dem elasto-plastischen Stoffansatz von MINKLEY und die diskrete Festigkeit der Schichtflächen nach MOHR-COULOMB beschrieben werden. Mittels des Rechenprogramms UDEC wurden für eine 2D-Geometrie einer Strecke im Opalinuston verschiedene Modell- und Parametervariationen für die im Felslabor Mont Terri angetroffenen geologischen Rahmenbedingungen untersucht. Dabei konnten die verschiedenen Bruchstrukturen, insbesondere die verringerte Schichtflächenfestigkeit, sehr gut abgebildet werden. Für die Beschreibung des zeitabhängigen sowie des poren-druckabhängigen Verformungsverhaltens besteht aber noch weitergehender Forschungsbedarf.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP7: Fortsetzung der Modellrechnungen nach erfolgter Anpassung des neuen MINKLEY-Scher-Modells zur verbesserten Beschreibung der Schichtflächeneigenschaften von Opalinuston.

AP8: Zusammenstellung der Ergebnisse und Berichtserstellung. Im Rahmen des EU-Projektes ist außer der Erstellung des eigenen Abschlussberichtes eine aktive Mitarbeit an der Erstellung des gemeinsamen Syntheseberichtes erforderlich.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Popp, T. & K. Salzer, 2006. Investigation of the influence of bedding planes to coupled HM properties of the damaged rock. Third NFPRO-Workshop, El Escorial, Spain, Nov 14-16 2006. Poster.

Popp, T. & K. Salzer, 2006. Anisotropy of seismic and mechanical properties of Opalinus clay during triaxial deformation in a multi-anvil apparatus. Proceedings International Symposium: "Using Natural and Engineered Clay-based Barriers for the Containment of Radioactive Waste ", Tours, 14-18 March 2005. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, In Press, Corrected Proof, Available online 6 October 2006.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9884</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 532.835,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Meyer

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Verwendung von kompaktierten Bentoniten in Endlagern in Salz, Ton- und Granitformationen, mit und ohne Betonwiderlager setzt die Kenntnis der Wechselwirkungen mit zutretenden Lösungen voraus. Für Langzeitsicherheitsanalysen müssen die möglichen Veränderungen der Bentonite, die ihre Dichtwirkung beeinträchtigen können, quantifizierbar sein. In diesem Vorhaben sind Langzeituntersuchungen mit charakteristischen Lösungen aus Salz-, Ton- und Granitformationen sowie mit Betonkorrosionslösungen vorgesehen. Es werden die Entwicklung der Lösungszusammensetzung und des Mineralphasenbestandes auf dem Reaktionspfad betrachtet, sowie die zeitabhängige Veränderung der Dichtwirkung der reagierten Bentonite mittels Quelldruckmessungen bestimmt. Durch Vergleich der chemischen Umsetzungsprozesse mit den veränderten hydraulischen Eigenschaften der umgewandelten Materialien werden Aussagen über das Langzeitverhalten der untersuchten Materialien erhalten.

Die BENKOR-Arbeiten sind gleichzeitig auch integraler Bestandteil des NF-PRO-Vorhabens FIW-CT-2003-02389 „Understanding and physical and numerical modelling of the key processes in the near-field, and their coupling, for different host rocks and repository strategies. In NF-PRO finden sich die BENKOR-Arbeiten im RTD Component 2: “Chemical evolution of the EBS“ in den Arbeitspaketen WP 2.2: “Evolution of pore water chemistry and effect of salt in the bentonite buffer during saturation“ und WP 2.4: “Effects of concrete degradation (high salinity) on bentonite and geochemical condition in the near field“.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Untersuchungsprogramme von BENKOR und NF-PRO sind deckungsgleich. In den Experimenten werden ein Bentonit (MX-80) im Kontakt mit einer Bureton-Lösung, einer Granit-Lösung aus dem Versuchslabor Äspö sowie einer jungen Zementporenlösung mit einem hohen pH-Wert (pH 13) sowie zwei zementgebundene Materialien, mit zwei für die Deponierung in Salzformationen charakteristischen Lösungen untersucht. In Batchversuchen wird der Bentonit MX-80 mit den erwähnten Lösungen reagieren gelassen. Nach Zeitschritten von ein, zwei und drei Jahren wird der reagierte MX-80 gewaschen und auf  $1,6 \text{ g/cm}^3$  kompaktiert und sein Quellvermögen ermittelt. Mittels chemischer Analysen sollen die langzeitlichen chemischen Umwandlungen betrachtet werden. Die experimentell erhaltenen chemischen Umwand-

lungen des MX-80 und der resultierenden Lösungen werden mit Hilfe des geochemischen Rechencodes EQ3/6 modelliert. BENKOR-**AP1** entspricht dem NF-PRO WP 2.2. **AP2** entspricht WP 2.4.

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

Die Versuche wurden wie geplant fortgeführt. Die Messungen an den 1-Jahresproben wurden abgeschlossen und die an den 2-Jahresproben begonnen. Die 2-Jahresproben mit kompaktiertem Bentonit wurden zur Lösungsextraktion und Analyse zu CIEMAT nach Spanien geschickt. Die Ergebnisse stehen noch aus. Eine ausführliche Darstellung aller bisherigen Ergebnisse wurde für den NF-PRO-Jahresbericht fertig gestellt und ist im Internet auf der Homepage des NF-PRO-Projektes unter der Bezeichnung D2.2.4 and D2.4.1\_Progress report 36 month\_14-12-06 zu finden. Diese Ergebnisse wurden in einem Workshop mit Teilnehmern von GRS, Universität Greifswald und Quintessa in Henley bei London im Oktober 2006 vorgestellt. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die Veränderungen der Quelldrucke mit fortschreitender Reaktionszeit sehr klein sind. So klein, dass sie mit der bisherigen Vorgehensweise der diskontinuierlichen Quelldruckmessung nicht genau genug zu erfassen sind. Darum wurden fünf weitere Quelldruckmessgeräte beschafft und Langzeitversuchen mit den Lösungen NaCl, IP21 und Bure-Lösung angesetzt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Fortführung der Experimente. Messungen der 2-Jahresproben. CIEMAT führt für GRS die Porenwasserextraktionen der kompaktierten Proben nach den Reaktionszeiten von 7 Tagen und 2 Jahren durch. Ob es gelingt Porenlösungen zu extrahieren und zu analysieren steht noch nicht fest. Wenn das gelingen sollte, werden dadurch zusätzliche Informationen zu den Reaktionen bei hohen Feststoff-Lösungs-Verhältnissen erwartet.

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

Fortschrittsbericht für NF-Pro auf den NF-Pro-Internetseiten unter der Bezeichnung Deliverable D2.2.4 and D2.4.1\_Progress report\_14-12-06, 37 S.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9894</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor - Hauptprojekt		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.400.305,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Rothfuchs	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im SB-Experiment soll untersucht werden, ob sich Permeabilitäten von Ton/Mineral-Gemischen so optimieren lassen, dass der sich in einem abgeschlossenen Endlagerbereich einstellende Gasdruck bei kontrollierter Abströmung der Gase über das Verschlussystem stets kleiner als die kleinste Hauptspannung bleibt, so dass im Gebirge keine unkontrollierten Risse generiert werden.

Für die Optimierung der Verschlusskörper werden das Aufsättigungsverhalten, die sich einstellenden Quelldrücke, die Gasdurchbruchsdrücke sowie die Gas- und Wasserpermeabilitäten von verschiedenen Ton/Mineral-Gemischen im Labor ermittelt. Im Technikum werden die geplanten In-situ-Einbautechniken und die Messtechnik überprüft. Im Untertagelabor Mont Terri werden in einem Versuchsfeld die in situ erreichbaren Einbaudichten, Wassersättigungen in Wechselwirkung mit dem umgebenden Gebirge, die resultierenden Quelldrücke sowie die Ein- und Zweiphasenflussparameter bestimmt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Abschließende Laboruntersuchungen zur Materialauswahl, Bestimmung von Materialparametern, Ermittlung geeigneter Einbautechniken für das Dichtmaterial sowie Auslegungs- und Modellrechnungen.

AP2: Technikums- und In-situ-Untersuchungen: Im Mt. Terri Untertagelabor werden in 4 bis 6 instrumentierten Bohrlöchern an den ausgewählten Ton/Mineral-Gemischen die Einbringtechnik, die Gas- und Wasserpermeabilitäten, die Gasdurchbruchsdrücke im wassergesättigten Zustand und die Zweiphasenflussparameter in Wechselwirkung mit dem umgebenden Gebirge untersucht. Zum Test der Einbring- und Verdichttechniken werden in einem Technikum in Braunschweig entsprechende Vorversuche durchgeführt.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**AP1:** AP1 ist abgeschlossen.

**AP2:** Im Technikumsversuch 2 (Ton-Sand-Mischung 35/65) wurden bis Ende Dezember 2006 ca. 25 l Pearson-Wasser in das Dichtelement injiziert. Dieser Wert liegt höher als die theoretisch aufnehmbare Wassermenge, die sich unter Berücksichtigung einer Porosität von 35 % ergibt. Die bisherige Versuchsdauer zur vollständigen Aufsättigung liegt deutlich über den aus den Modellrechnungen prognostizierten Zeiten. Diese Diskrepanz ist zu überprüfen. Die Drücke im unteren und mittleren Bereich haben sich auf die Höhe des Injektionsdrucks bei 1,1 Pa eingestellt. Am oberen Ende der Dichtung ist ein mit der Sättigung einhergehender moderater Druckanstieg zu verzeichnen, der aber weit unter den Drücken im unteren und im mittleren Teil bleibt.

Die Aufsättigung des ersten In-situ-Versuchs BSB2 dauert an. Seit Versuchsbeginn im Oktober 2005 wurden ca. 52 l Pearson-Wasser injiziert. Der derzeitige Injektionsdruck beträgt 0,4 MPa bei einer Fließrate um 50 ml/Tag. An der Unterseite des Bohrlochpackers wurde am Jahresende ein Quelldruck um 0,18 MPa registriert und ist somit geringfügig angestiegen.

Im Zeitraum vom 25.09.2006 bis 03.10.2006 wurden die Dichtungen in die Bohrlöcher BSB1, BSB13 und BSB 15 eingebaut und instrumentiert. Die Dichtung der Bohrung BSB1 bestand aus einer Ton-Sand-Mischung 35/65 (Einbaudichte: 1,73 g/cm<sup>3</sup>) und die der Bohrung BSB15 aus einer Ton-Sand-Mischung 50/50 (Einbaudichte: 1,72 g/cm<sup>3</sup>). Für die Dichtung in der Bohrung BSB13 kam ein von der NAGRA zur Verfügung gestelltes Tonmaterial, das aus aufgemahlenem Tongranulat bestand, zur Anwendung (Einbaudichte: 1,63 g/cm<sup>3</sup>). Die sich anschließenden Gaspermeabilitätsmessungen sowie die Flutung der Dichtelemente erfolgten in der Zeit vom 31.10.2006 bis 2.11.2006. Die Untersuchungen an der Bohrung BSB1 zeigten, dass trotz injektionsseitigem Gasfluss kein Gas an der obigen Austrittsseite festzustellen war, was offenbar auf Randläufigkeiten im Bereich Dichtung/Gebirge bzw. auf ein Abfließen des Gases ins Gebirge zurückzuführen ist. Bei den Bohrungen BSB13 (NAGRA-Material) konnte eine Gaspermeabilität von 2,3E-13 m<sup>2</sup> und bei der Bohrung BSB15 (Ton/Sand 50/50) eine Gaspermeabilität von 3,4E-15 m<sup>2</sup> ermittelt werden. Der Wert für die Ton-Sand-Mischung 50/50 liegt in vergleichbarer Größenordnung mit dem im Labor ermittelten Wert von ca. 7,6E-14 m<sup>2</sup>. Ein Vergleich der in die Dichtungen der Bohrungen BSB13 und BSB15 injizierten Gasmengen und der aus dem Dichtelement wieder ausgetretenen Gasmengen ergibt eine Massendifferenz/Massenverlust von ca. 51,8 % (BSB13) und ca. 99,2 % (BSB15). Auch hier muss von Randläufigkeiten im Bereich des Dichtelements und von einem Abfließen ins umgebende Gebirge ausgegangen werden. Mit der Flutung der Dichtelemente wurde Anfang November 2006 begonnen. Bei BSB1 war bei einem Injektionsdruck von 0,04 MPa bereits ein Wasserdurchbruch zu verzeichnen. Der Quelldruck am Bohrlochpacker beträgt Ende 2006 zwischen 0,03 und 0,05 MPa. BSB13 weist noch keinen Wasseraustritt auf, aber es werden Quelldrücke am Bohrlochpacker von 0,19 bis 0,29 MPa registriert. Der Injektionsdruck beträgt 0,21 MPa. Bei BSB15 trat bei der Befüllung ein Wasserdurchbruch auf, so dass die Bohrung zur Stabilisierung zunächst eingeschlossen wurde.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung des Technikumsversuchs 2
- Weiterführung der In-situ-Versuche

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 E 9904</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 98.531,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Salzer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Aus Sicht der Langzeitsicherheit sind die bisher vorliegenden Forschungsergebnisse zu hochkompaktiertem Salzgrus nicht ausreichend. Die Zielsetzung dieses Vorhabens besteht deshalb in einer Verbesserung der gesteinsmechanischen und hydraulischen Charakterisierung von Salzgrus, der bis in den Bereich niedriger Porositäten vorkompaktiert wurde.

Die dazu durch gesteinsmechanische Laborversuche zu gewinnenden gebirgsmechanischen und hydraulischen Parameter sind die Basis für die Entwicklung bzw. Anpassung eines geeigneten Stoffansatzes für hochkompaktierten Salzgrus und seine Kontaktflächeneigenschaften zur Modellierung des Langzeitverhaltens einer entsprechenden geotechnischen Barriere. Schwerpunktmäßig soll dabei die Entwicklung von Porosität, Permeabilität sowie die mechanische Festigkeit untersucht werden. Dazu gehört insbesondere auch der Einfluss einer Einwirkung von gesättigten Salzlösungen. Hierfür ist die Nutzung neuer Untersuchungsverfahren notwendig.

Mit den geplanten Untersuchungen werden die genannten Defizite abgebaut, so dass eine zuverlässige Prognose des Verhaltens dieses Materials möglich wird. Dies hat vor allem Konsequenzen für den Betrieb eines Endlagers.

Das Vorhaben wird im Rahmen des internationalen 6. EU-Rahmenprogramms (Key-Processes in the Near-Field) durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Darstellung des aktuellen Kenntnisstandes zum Verhalten von hochkompaktierten Salzgrus.

AP2: Untersuchungen in der Triaxialapparatur bei erhöhtem Manteldruck.

AP3: Untersuchungen mit dem Schergerät zur Bestimmung der Scherparameter an Kontaktflächen zwischen Formsteinen aus hochkompaktiertem Salzgrus.

AP4: Untersuchungen mit dem Schergerät zur Bestimmung der Scherparameter an Kontaktflächen zwischen Formsteinen aus hochkompaktiertem Salzgrus und einer Steinsalzoberfläche.

AP5: Durchführung von Langzeit-Kriechversuchen mit verschiedenen Manteldrücken.

AP6: Umsetzung der gewonnenen Materialparameter in ein geeignetes Stoffmodell und Validierung durch Nachrechnung der Laborversuche.

AP7: Durchführung von Modellrechnungen zur Bewertung von Verfüllmaßnahmen.

AP8: Zusammenstellung der Ergebnisse und Berichtserstellung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP3: Untersuchungen mit dem Schergerät zur Bestimmung der Scherparameter an Kontaktflächen zwischen Formsteinen aus hochkompaktiertem Salzgrus.  
Zur Verdichtung des Datenmaterials über den Einfluss der Standzeit auf die Geschwindigkeit der Verheilung bzw. des Aufbaus einer Festigkeit zwischen befeuchteten Kontaktflächen von Formsteinen aus hochkompaktiertem Salzgrus wurden drei zusätzliche Scherversuche durchgeführt.
- AP6: Umsetzung der gewonnenen Materialparameter in ein geeignetes Stoffmodell und Validierung durch Nachrechnung der Laborversuche.  
Die Untersuchungen zur Stoffgesetzauswahl konzentrierten sich zunächst auf das Stoffgesetz nach HEIM, das im Rahmen des BAMBUS-Projektes zur Beschreibung des Kompaktionsverhaltens von Salzgrus mit Erfolg eingesetzt wurde. Dieses Stoffgesetz liegt als DLL-Modul für den ITASCA-Programmcode FLAC3D vor, so dass mit diesem Programmcode und Stoffgesetz umfangreiche räumlich Berechnung zur Modellierung von Prüfkörpern durchgeführt wurden.  
Es konnte gezeigt werden, dass mit diesem Stoffmodell die Nachrechnung der Langzeit-Kriechversuchen bei unterschiedlichen Einspannungen mit einem einheitlichen Parametersatz nicht möglich ist. Es wird deshalb empfohlen, das von Spiers u. a. entwickelte Stoffmodell als DLL-Modul für eine Nutzung in den ITASCA-Programmcodes zu implementieren.  
Für die verformungsabhängige Beschreibung des Kontaktflächenverhaltens wurde eine Anpassung des MINKLEY-Scher-Modells an die Ergebnisse der Scherversuche begonnen, die zur Beschreibung des Kontaktflächenverhaltens zwischen vorkompaktierten Salzgrusbriketts durchgeführt wurden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP6: Abschluss der Anpassung des MINKLEY-Scher-Modells zur Beschreibung des Kontaktflächenverhaltens zwischen vorkompaktierten Salzgrusbriketts .
- AP8: Zusammenstellung der Ergebnisse und Berichtserstellung. Im Rahmen des EU-Projektes ist außer der Erstellung des eigenen Abschlussberichtes eine aktive Mitarbeit an der Erstellung des gemeinsamen Syntheseberichtes erforderlich.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Salzer, K. Popp, T. and Böhnel, H. (2006): Mechanical and permeability properties of highly pre-compacted granular salt bricks. Third NF-PRO Workshop, El Escorial, Spain, Nov 14-16 2006. Poster
- Salzer, K. Popp, T. and Böhnel, H. (2007): Mechanical and permeability properties of highly pre-compacted granular salt bricks. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9914</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Goelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 30.06.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 140.936,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Rothfuchs	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Seit Anfang 2003 wird in Mt. Terri ein Ventilationsversuch zur Ermittlung des Entsättigungsverhaltens des Opalinuston infolge der Bewetterung von Endlagerstrecken durchgeführt. Die nach dem Einbau von Streckenverschlüssen erfolgende Wiederaufsättigung ist für die Langzeit-Dichtwirkung des Verbundes Barriere/Gebirge von besonderem Interesse.

Zur Bearbeitung spezieller Fragen bzgl. der Charakterisierung und Kurzzeitentwicklung der EDZ soll der Versuch mit einer weiteren Ent- und Wiederaufsättigungsphase weitergeführt werden.

Folgende Fragestellungen sollen von den Projektpartnern im Rahmen des EU-Projektes NF-PRO bearbeitet werden:

- Bestimmung der effektiven hydraulischen Leitfähigkeit (Keff) in der EDZ,
- Abschätzung des Selbstheilungsprozesses infolge natürlicher Wiederaufsättigung,
- Bestimmung des Einflusses chemischer Änderungen infolge der Ventilation auf die hydraulisch-mechanischen Eigenschaften sowie
- Bestimmung der EDZ-Eigenschaften bzgl. Feuchtetransporteigenschaften und Vergleich mit entsprechenden Daten im ungestörten und natürlich geklüfteten Gebirge („main fault“).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die GRS soll im Projekt folgende Arbeiten übernehmen:

- geoelektrische Messungen zur Ermittlung und Verfolgung der zeitlichen und räumlichen Entwicklung der Feuchteverteilung im Gebirge in den verschiedenen Ventilationsphasen
- unterstützende Untersuchungen an großkalibrigen Bohrkernen zur Quantifizierung der o. g. Effekte unter besonders gut kontrollierten Bedingungen im Labor.



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

*Weiterführung der geoelektrischen Feldmessungen:* Die geoelektrischen Feldmessungen wurden ab dem 1. April 2004, d. h. mit Beginn der neuen Projektphase 2 im bisherigen Umfang weitergeführt. Die zweite Entsättigungsphase des Tonsteins in der Umgebung des Mikrotunnels durch Ventilation mit trockener Luft wurde Anfang Juli 2005 gestartet und durch geoelektrische Messungen überwacht. Mit dem 21.12.2006 endete die zweite Entsättigungsphase. Vergleichbar mit der ersten Entsättigungsphase bildete sich ein entsättigter Bereich von 20 bis 50 cm Ausdehnung ins Gebirge, dabei wurden Sättigungswerte unter 50 % erreicht. Seit dem Ende der Ventilation wird die Wiederaufsättigung des Gebirges beobachtet.

*Laboruntersuchungen:* Ein Laborventilationsversuch wurde an einem großen gelochten Tonkern aus Bure durchgeführt. Dieser Prüfkörper hat einen Durchmesser von 280 mm und eine Länge von 610 mm. Entlang der Zentralachse wurde ein Bohrloch von 55 mm Durchmesser hergestellt. Da der Tonkern nach der Gewinnung nicht vor Lufttrocknung geschützt wurde, hat die Probe einen sehr geringen Wassergehalt von nur ca. 1.7 %. Der gelochte Prüfkörper wurde zuerst mit einem Außendruck von 10 MPa ohne Ventilation über einen Monat belastet. Dabei wurden nur kurzzeitige Verformungen bei der Belastung gemessen. Zeitabhängige Verformungen wurden innerhalb dieser Versuchsphase nicht beobachtet. Danach wurde die Probe bei gleicher Belastung durch Zuleitung von Wasserdampf in die Zentralbohrung über zwei Wochen befeuchtet. Die relative Luftfeuchtigkeit im Bohrloch erreichte bis zu 100 %. Dabei wurde eine Bohrlochkonvergenz bis zu 3 % gemessen. Die anschließende Entsättigung durch Zuleitung von trockener Luft bewirkte eine Bohrlochdivergenz bis zu 4 %. Infolge eines Stromausfalls wurde die Probe geschädigt und somit konnten die geplanten weiteren Versuchsphasen nicht gefahren werden. Zum Erreichen der definierten Projektzielsetzung ist ein weiterer VE-Test an einem Großkern aus Mont Terri vorgesehen und Anfang Februar 2007 zu starten.

Parallel zur Ventilation des Großkerns wurde die Änderung von Wassergehalt und Axialverformung auch an kleinen Proben aus der Zentralbohrung bei Befeuchtung mit ca. 80 % und 92 % über 5 Monate gemessen. Bei der erhöhten Luftfeuchtigkeit wurde eine ständige Wasserzunahme bis zu 1.3 % (bezogen auf der Anfangsgewicht der Proben) und auch eine leichte Axialquellung bis zu 0.3 % beobachtet. Neben den oben genannten Versuchen wurde auch der Zusammenhang zwischen Saugspannung und Wassergehalt an kleinen Tonproben mittels Exikkatoren bei unterschiedlichen Feuchtigkeiten bestimmt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der geoelektrischen Feldmessungen bis Mitte 2007, da die Entsättigungsphase bis Ende 2006 ausgedehnt wurde und die anschließende Wiederaufsättigung beobachtet werden soll
- Durchführung eines weiteren großen Ventilationsversuchs an Opalinustonkern

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9924</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Huminstoff-Metall-Komplexierung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 31.10.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 211.563,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Löhmannsröben	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Erweiterung und Absicherung der thermodynamischen Datenbasis für Actiniden und der Einfluss der Kinetik stehen im Vordergrund des Forschungsvorhabens. Es werden die mechanistischen Aspekte der Wechselwirkung von Metallionen mit Huminstoffen sowie die Kinetik und Thermodynamik der Reaktionen durch zeitaufgelöste Lumineszenzspektroskopie untersucht. Dazu werden die konditionellen Stabilitätskonstanten bestimmt (AP1), Abstandsverteilungen von Metall-Bindungsstellen in Huminstoffen ermittelt (AP2), die Assoziationskinetik von HS untersucht (AP3) und die Konformationsdynamik von HS analysiert (AP4). Die zu erwartenden Ergebnisse des Forschungsvorhabens zielen auf eine Erweiterung der Methodik zum Langzeitsicherheitsnachweis für potentielle Endlagerstätten. Daraus werden Beiträge für differenzierte Transportmodelle, die vor allem dem milieuhängigen Verteilungsverhalten von Schwermetallspezies in DOC-haltigen Systemen Rechnung tragen, erhalten. Das Verständnis der zugrunde liegenden Teilprozesse ist eine elementare Voraussetzung für die verlässliche Modellierung konkreter Szenarien.

Das Projekt 02E9924 ist Teil des Verbundes „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“. Insbesondere mit den Projekten 02E9673, 02E9763, 02E9693 und 02E9683 bestehen thematische Verknüpfungen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Bestimmung von konditionellen Komplexbildungskonstanten und thermodynamischen Daten
- AP2: Ermittlung der mittleren Abstände  $r$  von Metallbindungsstellen in Huminstoffen
- AP3: Untersuchung der Kinetik der Huminstoff-Metall-Assoziation
- AP4: Konformationsdynamik in Huminstoff-Metall-Komplexen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

(AP1) Die Lanthanoidkomplexierung von Gohy 573 FA und Gohy 573 HA wurde bei zwei unterschiedlichen Temperaturen und zwei verschiedenen Ionenstärken durchgeführt. Es zeigt sich, dass die Erhöhung der Temperatur von 25°C auf 40°C keine signifikante Auswirkung auf die Komplexbildungskonstante hat. Die Erhöhung der Ionenstärke von 0,01 M auf 0,1 M zeigt jedoch eine Abnahme der Komplexbildungskonstante um eine  $pK$ -Einheit. Weiterhin wurden die Vergleichshuminstoffe der IHSS grundlegend spektroskopisch untersucht und es wurde begonnen stationäre Fluoreszenzspektren zur Bestimmung von Komplexbildungskonstanten aufzunehmen. Im Folgenden können nun die kinetischen Messungen durchgeführt werden.

(AP2) Durch einen Aufenthalt im Institut für nukleare Entsorgung konnten durch Messungen mit Curium(III) Hinweise gefunden werden, dass sich die Komplexbildung von Actinoiden mit HS durch ein Modell beschreiben lässt, bei dem angenommen wird, im HS liegen unterschiedlich starke Bindungsstellen vor. Wird angenommen, im Gohy 573 HA sind eine starke und eine schwache Bindungsstelle, so lassen sich die daraus resultierenden Curium-Spezies in den Messungen der Lumineszenzkinetik des Curiums nachweisen. So zeigt die an der starken Bindungsstelle koordinierte Curiumspezies in der ersten Hydratationssphäre weniger gebundene Wassermoleküle als das an der schwächeren Bindungsstelle koordinierte. Das schwach koordinierte Curium hat 4.5 mal mehr Wassermoleküle in der ersten Koordinationssphäre als das stark komplexierte.

(AP3) Mit den Messungen der Kinetik der Komplexbildung mit Hilfe der *stopped-flow*-Technik für die HS der Internationalen Huminstoffgesellschaft (IHSS) wurde begonnen.

(AP4) Durch einen Defekt der Photonen-zählkarte an unserem Kurzzeitspektroskopie-Messplatzes war es leider nicht möglich, die Messungen zur Kinetik und Konformationsdynamik vergleichend in D<sub>2</sub>O und H<sub>2</sub>O durchzuführen (s. u. Geplante Weiterarbeiten).

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

(AP1) Keine weiteren Arbeiten geplant.

(AP2) Mit den Vergleichssubstanzen der IHSS werden in der nächsten Zeit die bereits bekannten Messungen mit geeigneten Lanthanoid-Donor-Akzeptorpaaren durchgeführt. Auf diese Messungen sollen die aufgestellten Modelle zum Energietransfer in Lanthanoid-HS-Komplexen angewandt werden. Aus den Messungen sollen dann über den Interlanthanoid-Energietransfer Abstände der Bindungsstellen bestimmt werden.

(AP3) Hier sollen die *stopped-flow*-Messungen im nächsten Halbjahr abgeschlossen werden. Aus der Vielzahl der dann untersuchten HS soll dann ein belastbares Bild zur Dynamik der Komplexbildung von Lanthanoiden durch HS vorliegen.

(AP4) Da der Kurzzeitspektroskopie-Messplatz wieder funktionstüchtig ist, sollen im nächsten Halbjahr die vergleichenden Messungen in H<sub>2</sub>O und D<sub>2</sub>O durchgeführt werden. Hier stellt der Vergleich der Fluoreszenzabklingkonstanten eine Möglichkeit dar, Informationen über protonenaustauschende Gruppen im Huminstoff zu erhalten. Gleichzeitig eröffnen Messungen in schwerem Wasser in Anknüpfung an AP2 eine Bestimmung der Zahl der Wassermoleküle in der ersten Koordinationssphäre der Lanthanoidionen sehr exakt durchzuführen. Bei diesem Verfahren werden die Abklingzeiten der Lanthanoidlumineszenz (Tb<sup>3+</sup>, Eu<sup>3+</sup>) in H<sub>2</sub>O und D<sub>2</sub>O bestimmt und daraus der Anteil der Lumineszenzlöschung durch OH-Gruppen bestimmt. Schließlich kann dann direkt die Zahl der Liganden in der ersten Koordinationssphäre als Differenz zu maximal neun Wassermoleküle im Lanthanoid-Aqua-Komplex bestimmt werden.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Bettina Marmodée, Michael U. Kumke, Joost de Klerk, Freek Ariese and Cees Gooijer: *High-resolution lanthanide ion probe spectroscopy (HR-LIPS) of complexes between Eu(III) and humic substances*, J. Luminesc. (2006) submitted.

Bettina Marmodée, Joost de Klerk, Michael U. Kumke, Freek Ariese and Cees Gooijer: Spectroscopic investigations of complexes between Eu(III) and aromatic carboxylic ligands. J. Alloys Comp. (2007) accepted for publication.

N. Kolokassidou, F. Lushtinetz, S. Eidner, M.U. Kumke, I. Pashalidis, *Effect of Metal Ion Complexation on Humic Acid Conformation*, Proceedings 2nd Annual Workshop FUNMIG, Stockholm, Schweden

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9934</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 816.300,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Fein	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Fertigstellung der in den Jahren 1995-2003 unter BMBF- bzw. BMWi-Förderung entwickelten Programmpakete d<sup>3</sup>f und r<sup>3</sup>t stehen Werkzeuge zur Verfügung, die es erlauben, Grundwasserbewegungen unter Berücksichtigung der Salinität und Schadstofftransporte unter dem Einfluss von Sorption, Löslichkeitsgrenzen und radioaktivem Zerfall für großräumige, hydrogeologisch komplexe Gebiete über lange Zeiträume zu berechnen.

Ziel dieses Projektes ist die umfassende Erprobung der Programmpakete mit allen enthaltenen Möglichkeiten der Modellierung und unter Ausschöpfung der Hard- und Softwaregrenzen. Damit soll das Vertrauen in die Modellierung von Dichteströmung und Radionuklidtransport erhöht werden.

Modelliert werden Strömungen mit und ohne Salzeinfluss und der Transport von natürlichen und anthropogenen Wasserinhaltsstoffen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Vorhabens sollen folgende Testfälle bearbeitet werden:

- AS 1: Transport von Chlorid und Kalium im Gebiet der Insel Langeoog
- AS 2: Transport von Radionukliden im Grundwassermessfeld Krauthausen
- AS 3: Transport von Uran, Nickel und Eisen im ehemaligen ostthüringischen Uranbergbaugbiet Ronneburg
- AS 4: Transport von Zink im Bereich Cape Cod, Massachusetts

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Aufbauend auf den bisherigen Modellierungen wurden Variationen von Grundwasserneubildungsraten, Permeabilitäten, Porositäten und Randbedingungen der seitlichen Modellrändern, sowie eine Rechnung auf einem feineren Gitter (500 000 Knoten) durchgeführt. Weiterhin wurde der Einfluss der Boussinesq-Aproximation untersucht. Es zeigte sich, dass die Grundwasserneubildung der einzige sensible Parameter ist. Eine zufrieden stellende Süßwasserlinse lässt sich nur mit Raten modellieren, die mit 725 mm/a in der Nähe der jährlichen Niederschlagsmenge liegen. Der Transport von K<sup>+</sup>-Ionen unterliegt einer Rückhaltung, die mit Hilfe einer Henry-Isotherme modelliert wurde. Skaliert man diese und die Cl<sup>-</sup>-Ergebnisse, so stimmen die stationären Ergebnisse bis auf kleine Randeffekte überein. Die Ausbreitung des Kaliums erfolgt etwa um den Faktor 10 langsamer als die des Chlorids. Die Fördermengen der Brunnen des örtlichen Wasserwerks sind bekannt. Die Brunnen wurden in das Modell integriert, führen aber bisher nicht zu den erwarteten Ergebnissen. Es wurde begonnen die Überflutungsszenarien zu modellieren. Die Modelle zeigen eine Schädigung der Süßwasserlinse bis in eine Tiefe von 20 m. Ihre Wiederherstellung dauert etwa 10 Jahre Modellzeit.

Die Modellierung des Zinktransports in Cape Cod, USA wurde mit der dreidimensionalen Modellierung abgeschlossen. Unter Berücksichtigung einer vom pH-Wert (Protonenkonzentration) abhängigen Retardierung des Zinktransports konnte die bei Cape Cod gemessene Zinkverteilung vom Modell qualitativ wiedergegeben werden.

Mit den Daten des Instituts für Chemie und Dynamik der Geosphäre, Institut Agrosphäre des Forschungszentrums Jülich zur Beschreibung des hydraulischen Durchlässigkeitsfeldes für das Testfeld Krauthausen wurden erste Rechnungen zur Modellierung des Strömungsfeldes begonnen. Dabei wurde sowohl eine zweidimensionale als auch eine dreidimensionale stochastische Modellierung durchgeführt.

Es wurde mit der Erstellung des Abschlussberichtes begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Fein, E.; Kröhn, K.-P.; Noseck, U.; Schneider, A.: Modellierung des großräumigen Schadstofftransports. In: Untertägige Entsorgung. Siebtes Statusgespräch zu FuE-Vorhaben auf dem Gebiet der Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen. 3. – 4. Mai 2006. Wissenschaftliche Berichte FZKA-PTE Nr. 9, Karlsruhe, 2006

Brewitz, W.: Forschungsergebnisse für den Grundwasserschutz bei Tief- und Endlagerung. In: Forschung für den Grundwasser- und Bodenschutz – eine Standortbestimmung. Fachkonferenz des BMBF am 5. und 6. September 2006, Umweltforum Berlin

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9944</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Goelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.07.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 214.197,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Wieczorek	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des von SKB durchgeführten Projektes "Prototype-Repository" wird die Endlagerung bestrahlter Brennelemente in vertikalen Bohrlöchern im Hartgestein durch elektrische Erhitzer simuliert. Die Versuchsstrecke und die Resthohlräume in den Einlagerungsbohrlöchern im Granit sind mit Ton-Splitt-Lockermaterial bzw. mit hoch kompaktierten Bentonit-Formteilen verfüllt. GRS überwacht in diesem Projekt seit 2001 den räumlichen und zeitlichen Verlauf der Aufsättigung der Bentonitbarrieren mit Hilfe geoelektrischer Widerstandsmessungen. Aus der Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Bereich verschiedener Elektrodenarrays wird die Wassergehaltsverteilung an Hand bereits durchgeführter Labormessungen ermittelt. Zur Absicherung der Ergebnisse und zur Erprobung neuer Auswerteverfahren soll ein Aufsättigungsversuch mit geoelektrischer Überwachung im Labormaßstab durchgeführt werden. Die experimentellen Messergebnisse stellen eine wichtige Datenbasis zur Überprüfung der numerischen Simulation des Aufsättigungsverhaltens von Tonbarrieren in Langzeitsicherheitsanalysen dar. Der Erfolg des Vorhabens wird durch die Qualität der bisher erzielten Ergebnisse abgesichert.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: In-situ-Ermittlung der räumlichen und zeitlichen Wasserverteilung in Gebirge, Bohrloch-Buffer und Streckenversatz
- AP2: Laborversuche zur Ermittlung der Resistivität (bzw. Leitfähigkeit) von Bentonitproben in Abhängigkeit vom Wassergehalt bzw. der Salinität des Porenfluids

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

API: Die Messungen im Streckenversatz in Sektion I und II wurden weitergeführt. In Sektion I ist die Resistivitätsverteilung inzwischen sehr homogen. Bei Werten um  $3 \Omega\text{m}$  (entspricht einem Wassergehalt von 21 – 22 %) ist nahezu Vollsättigung erreicht. Die Resistivität verringert sich nur noch sehr langsam.

Im Zentrum von Sektion II ist die Resistivität noch etwas höher, entspricht aber mindestens 18 % Wassergehalt. Gegenüber dem letzten Halbjahr verkleinerte sich der zentrale Bereich erhöhter Resistivität wiederum.

Bei den Messungen im Buffer ist wegen des Ausfalls mehrerer Elektroden Ende 2005 eine tomographische Auswertung der Messungen nicht mehr möglich. Die Gründe für den Elektrodenausfall sind unbekannt, möglicherweise handelt es sich um Korrosionseffekte. Eine Klärung wird erst im Rahmen von Nachuntersuchungen möglich; allerdings will SKB das Prototype Repository in der jetzigen Konfiguration noch etwa zwei Jahre weiterlaufen lassen.

Die Resistivitätsverteilungen entlang der Messketten im Gebirge ähneln einander sehr und ändern sich kaum. Die Gebirgsresistivität zeigt charakteristische Werte zwischen 2000 und  $7000 \Omega\text{m}$  (gesättigtes Gebirge).

AP2: Zur Simulation der Versatzaufsättigung mit begleitender Geoelektrik wurden zunächst ein Vorversuch mit unverdichtetem Äspö-Versatz und anschließend der eigentliche Hauptversuch mit verdichtetem Versatz, beide in mit Elektroden bestückten Plexiglasrohren, durchgeführt. Der Versatz wurde jeweils von unten her mit Äspö-Wasser teilweise geflutet und die Resistivitätsverteilung vor und nach der Flutung gemessen. Zur Zeit werden die Ergebnisse ausgewertet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

API: Weiterführung der In-situ-Messungen

AP2: Durchführung und Auswertung des Aufsättigungsversuchs

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9954</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2004 bis 31.07.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.422.492,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

#### TA 1: Bearbeitung grundlegender Aspekte

- Verfolgung und Bewertung internationaler Entwicklungen zu offenen Fragen bei Langzeitsicherheitsnachweisen und Einbringung nationaler Interessen in internationale Aktivitäten.
- Weiterentwicklung methodischer Vorgehensweisen in der Langzeitsicherheitsanalyse, wie zur Erstellung eines vollständigen Safety Case oder zur Verwendung geeigneter Sicherheits- und Performanceindikatoren.
- Auswertung neuer wissenschaftlicher Ergebnisse und Aufbereitung zur Verwendung in Instrumentarien für Langzeitsicherheitsanalysen.

#### TA 2: Bearbeitung von Schwerpunktthemen

- Untersuchung der Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf Prozesse in der Geosphäre und Biosphäre und Abschätzungen des Einflusses auf die Langzeitsicherheit potentieller deutscher Endlager.
- Untersuchung chemischer Effekte im Endlagernahbereich: Einbau neuer Modellansätze und Daten zu Quellterm und Löslichkeiten in das Nahfeldmodul und Überprüfung der Auswirkung bestehender Unsicherheiten auf Ergebnisse der Langzeitsicherheitsanalysen.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### TA 1:

- Teilnahme am jährlichen IGSC-Meeting in Paris.
- Mitarbeit in der NEA-Arbeitsgruppe „Timing of high-level waste geological disposal“. Teilnahme am 3. Arbeitstreffen in Paris. Diskussion und Vervollständigung des Berichtsentwurfs der NEA.



- Mitarbeit in der Arbeitsgruppe „Leitlinie Langzeitsicherheit“.
- Teilnahme am ersten Projekttreffen des Actinidenverbands in Dresden.
- Zuarbeit zu Arbeitskomponente RTDC6 im EU-Projekt FUNMIG. Bewertung der für die Langzeitsicherheit relevanten Prozesse für das Fernfeld eines Endlagers in Steinsalz.
- Dokumentation und Illustration aller Elemente des Safety Case auf Basis der Auswertung internationaler Empfehlungen von NEA und IAEA und verschiedener nationaler Studien.
- Erstellung eines Beitrags für das Symposium for the Safety Case: „To what extent can natural analogues contribute to the safety case for a repository in rock salt?“
- Auswertung aktueller Forschungsarbeiten zur Charakterisierung von Auflockerungszonen und deren Verheilung in Tonsteinformationen und Aufbereitung für Sicherheitsanalysen.

#### TA 2:

- Weiterführung der Arbeiten zu Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Verhältnisse im Fernfeld eines Endlagers im Salz. Diskussion der Auswirkungen auf die Prozesse in der Biosphäre und Beginn mit der Entwicklung konzeptueller Modelle.
- Zur Modellierung chemischer Effekte im Nahbereich wurde die Datenbasis erweitert und mit ersten geochemischen Rechnungen zu den beiden Endlagersegmenten HAW-Kokille im Bohrloch und Strecke mit abgebranntem Brennstoff in Polluxbehältern begonnen.
- Teilnahme am 2. Meeting der EBS-Task-Force in Barcelona. Beginn der Entwicklung eines Aufsättigungsmodells für nicht-isotherme Bedingungen. Erste Überprüfung des vorläufigen Codes (VIPER) anhand von Testfall 1.1.2 der EBS-Task-Force.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### TA 1:

- Teilnahme am jährlichen RWMC-Meeting und am Symposium zum Safety Case in Paris mit eigenen Beiträgen.
- Teilnahme an der nächsten Sitzung der NEA-Arbeitsgruppe „Timing of high-level waste geological disposal“ zur Fertigstellung des Abschlussberichts.
- Beschreibung aller Elemente eines Safety Case für ein HLW-Endlager in Steinsalz.
- Definition eines Szenarios für ein Endlager in einer Salzformation zur Durchführung von deterministischen Modellrechnungen, mit dem Sicherheits- und Performanceindikatoren erstmals auf ihre Eignung für Salzformationen untersucht werden.
- Erarbeitung eines konzeptuellen Modells zur Berücksichtigung der Auflockerungszone im Rahmen eines Langzeitsicherheitsnachweises für ein Endlager im Tonstein.

#### TA 2:

- Weiterführung der Modellrechnungen zur Radionuklidenausbreitung im Deckgebirge und der Entwicklung konzeptueller Modelle für die Biosphäre für unterschiedliche Klimazustände.
- Durchführung einer Unsicherheitsanalyse für Radionuklidlöslichkeiten im Nahbereich für die beiden Endlagersegmente.
- Teilnahme am nächsten Meeting der EBS Task Force in Weimar. Weiterentwicklung des Codes VIPER und Überprüfung anhand weiterer Testfälle.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Kröhn, K.P.: About the role of vapour transport during bentonite re-saturation. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH, GRS-222, May 2006.

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9965</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2005 bis 31.05.2008		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 460.416,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Krone	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel besteht darin, für ein HAW-Endlager im Granit ein klareres Verständnis über die Rolle der einzelnen Komponenten des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf den Nachweis der Endlagersicherheit, respektive der Standortbewertung, und damit über die an sie zu stellenden Anforderungen hinsichtlich des Isolationspotenzials zu erlangen. Mögliche Einschränkungen des Isolationspotenzials der geologischen Barriere werden maßgeblich durch die vorhandenen Kluftsysteme bestimmt, deren Charakterisierung folglich einen wesentlichen Teil der Standorterkundung ausmacht. Es soll geklärt werden, was die zusätzlichen technischen Barrieren leisten müssen, damit der Nachweis der Einhaltung der Schutzziele geführt werden kann, ohne die Standorteignung in Frage zu stellen.

Auf der Grundlage der durchgeführten Sicherheitsbetrachtungen soll analysiert werden, in welchem Maße die einzelnen Komponenten des Mehrbarriersystems zum Nachweis bzw. zur Gewährleistung der Endlagersicherheit beitragen und wo für jede einzelne Barriere die praktischen Grenzen für das Isolationspotenzial liegen. Im Ergebnis dieser Auswertung sollen Schlussfolgerungen hinsichtlich der zweckmäßigerweise an die einzelnen Barrieren zu stellenden Anforderungen mit Blick auf die Standortauswahl abgeleitet werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Charakterisierung, Auslegung und Sicherheitsbewertung der technischen Barrieren

1. Projektmanagement
2. Untersuchungen zur Behälterkorrosion und der daraus resultierenden Gasbildung
3. Untersuchungen zu thermisch und Erdbeben-induzierten Scherverformungen
4. In-situ-Versuch zur Abdichtwirkung des Bentonits im geklüfteten Gestein
5. Berichtswesen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Bewertung des Einflusses potenziell Erdbeben-induzierter Gesteinsverschiebungen geschieht durch rechnerische Ermittlung der maximal zulässigen Scherverformungen auf Klüften, bei der die plastischen Verformungen der technischen Barriere bestehend aus Bentonit, heat-spreader und austenitischem Stahlbehälter die zulässigen Werte nicht überschreiten darf. Die durchgeführten numerischen Berechnungen zur Scherung basieren auf einem kontinuumsmechanischen Modellansatz, der besonders bei größeren Kluftverschiebungen leicht zu unerlaubten Elementverzerrungen führt. Um das Problem zu lösen, wurde ein schrittweises Vorgehen festgelegt. Es wurden zunächst Modelle mit kleinen Dehnungen und dann mit großen Dehnungen gerechnet, um die Grenzen des Kontinuumsmodells auszureizen.

In Anlehnung an tatsächlich vorhandene Kluftgeometrien in Krasnojarsk wurden drei verschiedene Einfallswinkel von Klüften betrachtet ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $80^\circ$ ). Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass beide Modelle im Bereich der Behälter zu vergleichbaren Aussagen führen. Es ist dabei zu beachten, dass der Modellansatz mit kleinen Dehnungen eher zu einer Unterschätzung der Verformungen an der Behälterwand führt. Der Modellansatz mit großen Dehnungen ergab Verformungen der Behälterwandung im Bereich von 4 bis 5 % für Klüfte, die horizontal oder unter einem Winkel von  $30^\circ$  auf den Behälter einwirken. Die Werte liegen damit noch innerhalb der Grenzwerte für hochduktilen Bewehrungsstahl. Der Fall einer steil stehenden Kluft mit  $80^\circ$  Einfallswinkel ergab lediglich Verformungen im Bereich von 1 % bei gleicher Größe der Verschiebung auf der Kluft und ist damit als der am wenigsten kritische Fall einzustufen. Insgesamt kann festgehalten werden, dass eine Scherung bei  $30^\circ$  ungünstiger ist als im horizontalen oder steil stehenden Fall.

Neben der bisherigen Betrachtung eines komplett gefüllten Behälters wurden auch Berechnungen mit einer (ggf. technisch bedingten) 80 %-tigen Teilbefüllung gerechnet. Es zeigte sich, dass die angesetzte Teilbefüllung zu keiner wesentlichen Änderung der Berechnungsergebnisse führt. Auslegungsrelevante Bereiche im Deckelbereich existieren demnach nicht und Anforderungen an die Befüllung der Behälter brauchen daher nicht abgeleitet zu werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Um größere Verschiebungen insgesamt besser berechnen zu können, ist die Kopplung zwischen einem Berechnungsprogramm zur kontinuumsmechanischen Modellierung (FLAC3D) mit einem für diskontinuierliche Modelle vorgesehen (PFC3D). Die durch die Scherung besonders beanspruchte Bentonitzone wird in einem folgenden Schritt mit Hilfe des diskontinuierlichen Modells beschrieben, während der übrige Teil als kontinuumsmechanisch beschriebenes System erhalten bleibt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9975</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barrierensystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2005 bis 31.05.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 433.264,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Fein	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zielstellung des Vorhabens besteht in der Erlangung eines klareren Verständnisses über die Rolle der einzelnen Komponenten des geologischen und geotechnischen Barrierensystems für ein HAW-Endlager im Hartgestein. Dies soll im Hinblick auf den Nachweis der Endlager-sicherheit und damit auf die Anforderungen hinsichtlich des Isolationspotenzials geschehen.

Bei der Endlagerung im Hartgestein kann nicht von einem vollständigen Einschluss der Abfälle durch das Wirtsgestein ausgegangen werden. Mögliche Einschränkungen des Isolationspotenzials werden maßgeblich durch die vorhandenen Kluftsysteme bestimmt, deren Charakterisierung folglich einen wesentlichen Teil der Standorterkundung ausmacht. Durch die eingeschränkte Kenntnis über die vorliegenden Kluftsysteme stellt sich die Frage, was die zusätzlichen technischen Barrieren leisten müssen, damit der Nachweis der Einhaltung der Schutzziele geführt werden kann. Ferner ist zu klären, mit welchem Detaillierungsgrad und mit welchen Verfahren die Charakterisierung der geologischen Verhältnisse im Hartgestein zweckmäßigerweise betrieben werden sollte. Zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen beiden Aspekten ist die Durchführung integrierter Sicherheitsanalysen vorgesehen, die das gesamte Barrierensystem erfassen und die Auswirkungen von Parameteränderungen bewerten. Obwohl die Arbeiten weitgehend an Hand von Standortdaten, die von russischer Seite bereitgestellt werden, durchgeführt werden, sollen keine Aussagen zur Standorteignung abgeleitet werden.

Dieses Vorhaben wird gemeinsam mit der DBE Technology und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführt. Im Folgenden wird nur das von der GRS untersuchte Arbeitspaket beschrieben.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP3: Bewertung der Wirksamkeit des gesamten Barrierensystems  
 Erweiterung von Computerprogrammen  
 Hydrogeologisches Modell für den Standort Jennisseiskij  
 Deutsch-russische Benchmarks

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die im vorhergehenden Berichtszeitraum eingereichte Publikation mit dem Titel „Hydrogeological Modelling and Performance Assessment- Hydrogeological Groundwater Models for Site Selection and Site Exploration of Underground Repositories in Crystalline Rock“ für das IAH-SP-Volume „Hydrogeology of fractured rocks“ wurde abgeschlossen und vom Herausgeber akzeptiert.

Die Erstellung eines soweit wie möglich standortgebundenen Modells im Gebiet Jennisseiskij wurde vorangetrieben. Ziel war die Erstellung eines Profilschnittes als Grundlage für ein Strömungs- und Transportmodell. Soweit vorhanden wurde dabei auf Gebietsdaten zurückgegriffen. Tiefenlinienpläne wurden zu diesem Zweck in das Geoinformationssystem ArcGIS überführt, um Schwächezonen im Gesteinssystem zu erkennen, eine Eingrenzung potentiell geeigneter Endlagergebiete vorzunehmen, sowie die Basis für die Überführung der Daten in ein Grundwasserströmungsmodell zu schaffen. Im Anschluss erfolgte die Übertragung der aufbereiteten Daten in das Grundwasserströmungsmodell FEFLOW. Aus der 3dim-Strömungssimulation konnten Fließwege aus einem potentiellen Endlagergebiet heraus bestimmt werden. Entlang einer ausgewählten Stromlinie wurde ein Profilschnitt erstellt, der für eine zwei-dimensionale Modellierung herangezogen werden kann.

Im September 2006 wurden die verbliebenen Bohrkerne der drei Altbohrungen im Gebiet Jennisseiskij gemeinsam mit der BGR begutachtet. Nach eingehender Prüfung wurden zwölf Kernstücke aus unterschiedlichen Bohrungen ausgewählt, um an diesen im Labor der GRS Durchlässigkeitsmessungen und gegebenenfalls Festigkeitsuntersuchungen durchzuführen. Die Kernstücke wurden aufgelistet und können an Hand digitaler Fotos identifiziert werden.

Während einer ganztägigen Projektbesprechung mit der BGR und DBEtec im Dezember 2006 wurde das weitere Vorgehen im Hinblick auf eine Modellstudie im Gebiet Jennisseiskij besprochen. In Anlehnung an die Definition von „Safety Functions“ wurden Schutzfunktionen für das Gebiet Jennisseiskij definiert und ihnen Parameter zugeordnet. Die Modellstudie soll zu einer Wichtung der Schutzfunktionen führen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt. Der Schwerpunkt liegt in der Durchführung einer Modellstudie im Gebiet Jennisseiskij. Wie diese im Detail durchgeführt wird, ist Thema des nächsten Projektgespräches mit der BGR und DBEtec Ende Januar 2007.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Fahrenholz, C.; Brewitz, W.; Fein, E.; Schöniger, M.: Hydrogeologic Modelling with Regard to Site Selection for an Underground Repository in a Granite Formation in Krasnojarsk, Russia. In: IAH/Taylor & Francis - SP9 Volume "Groundwater in Fractured Rocks", ISBN 9780415407458

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9985</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2005 bis 30.06.2008		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 282.060,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Bernhard

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel dieses Vorhabens ist es, die Komplexierung von Uran, Curium und Neptunium mit von Pseudomonaden (z. B. *P. fluorescence* und *P. stutzeri* isoliert im Äspö HRL) freigesetzten natürlichen Bioliganden und mit relevanten Modellverbindungen aufzuklären. Es werden Aussagen zu Struktur und Bildung der Actinid-Bioligand Verbindungen erwartet. Die erhaltenen Daten dienen der Bewertung des Einflusses von Bioliganden, freigesetzt von Bodenbakterien, auf die Mobilität von Actiniden insbesondere aus radioaktiven Endlagern in Gesteinsformationen.

Teilziel 1 des Projektes ist die Isolierung und Charakterisierung der Bioliganden (an der Universität Göteborg, Arbeitsgruppe von Prof. K. Pedersen). Dies beinhaltet eine Trennung der Bioliganden in einzelne Fraktionen und im günstigsten Falle eine Substanzidentifizierung in den Fraktionen. Teilziel 2 ist die Aufklärung der Wechselwirkungen der Modellverbindungen mit Uran, Neptunium und Curium. Teilziel 3 umfasst die Charakterisierung der gebildeten Uran-, Neptunium- und Curium-Spezies mit den natürlichen Bioliganden bzw. Bioligandfraktionen.

Die Untersuchung der Komplexierung mit den Bioliganden und Modellverbindungen erfolgt mit Hilfe modernster spektroskopischer Methoden (Laserspektroskopische Verfahren, UV/Vis-, Infrarot- und Röntgenabsorptionsspektroskopie).

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in die Arbeitsaufgaben:

- AP1: Isolierung, Fraktionierung und Charakterisierung der natürlichen Bioliganden die von Pseudomonaden (im Äspö HRL isoliert) gebildet wurden
- AP2-AP4: Wechselwirkung der ausgewählten Modellverbindungen (Salicylhydroxamsäure, Desferrioxamin B, 6-Hydroxychinolin, Peptidoglykan und Lipopolysaccharid u. a.) mit den Actiniden Uran(VI), Curium(III) und Neptunium(V)
- AP5-AP7: Studium der Wechselwirkung der natürlichen Bioliganden mit U(VI), Cm(III) und Np(V)  
Bestimmung der Actinidenspeziation in der Lösung (rechnerisch, spektroskopisch) vor und nach der Wechselwirkung mit den Bioliganden bzw. Modellsystemen  
Abhängigkeit der Speziation vom pH-Wert und der Ligandkonzentration

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Isolierung der Bioligandfraktionen von *Pseudomonas fluorescence* in Göteborg (Anna Johnsson, Göteborg University, Department of Cell and Molecular Biology)

- Zusammenarbeit mit Prof. H. Budzikiewicz und Dr. M. Schäfer (Universität zu Köln, Institut für Organische Chemie) begonnen: Charakterisierung der Bioligandfraktionen mittels Massenspektrometrie
- Abschluss der UV-vis Untersuchungen zur Wechselwirkung der Bioligandfraktionen mit U(VI), Fortsetzung der fs-TRLFS und TRLFS Experimente
- Komplexierung im Modellsystem U(VI)-Lipopolysaccharid (LPS) mittels TRLFS: LPS von *P. aeruginosa* Serotype 10, pH 2.5-9.0, [U(VI)  $1 \times 10^{-5}$  –  $1 \times 10^{-4}$  M, [LPS] 0.01-1 g/l
- Abschluss der UV-vis spektroskopischen Untersuchungen zur U(VI) Speziation mit Salicylhydroxamsäure (SHA), Benzohydroxamsäure (BHA), Benzoesäure (BA) Desferrioxamin B (DFB) und 6-Hydroxychinolin (6HQ): Variation [U(VI)], [L] und pH, Charakterisierung der U(VI) Komplexe in oben genannten Modellsystemen mit TRLFS
- Besuch der Arbeitsgruppe von Prof. Pedersen in Göteborg vom 02. bis 04.11.2006: Projektabsprachen und Promotionsverteidigung von A. Johnsson
- Beginn der Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Prof. Dolg Universität zu Köln: quantenchemische Berechnungen zur Struktur der U(VI) Komplexe mit SHA, BHA und BA
- Fortsetzung Literaturstudium zu relevanten Bioliganden und deren Wechselwirkung mit Actiniden

Ergebnisse, Teilziel 1 (AP1):

- Charakterisierungen mittels Massenspektrometrie: Fragmentierung des Massenspektrums im  $[M+2H]^{2+}$ -Ionenbereich ergab, dass die Bioligandfraktion 2/3 Ferribactine und 1/3 Pyoverdine enthält, Struktur des Pyoverdins mit Bernsteinsäureamid Seitenkette erstellt

Ergebnisse, Teilziel 2 (AP2-AP4):

- UV-vis spektroskopische Aufklärung der Komplexbildung von U(VI) mit den Modellen SHA, BHA, BA im Manuskript: Complexation of uranium(VI) with aromatic acids in aqueous solution – A comparison of hydroxamic acids and benzoic acid von M. Glorius et al. zusammengefasst (bei Radiochimica Acta akzeptiert), TRLFS Untersuchungen zeigten, dass die gebildeten Komplexe nicht fluoreszieren (Quenching), Stabilitätskonstanten stimmen gut mit denen der UV-vis Messungen überein
- U(VI) und LPS mit TRLFS: starke Erhöhung der Intensität des Fluoreszenzsignals mit zunehmender [LPS] über gesamten untersuchten pH-Bereich, Bandenverschiebung um 10-11 nm im Vergleich zum freien Uranylion, starke Komplexierung des Uranylions durch LPS (detaillierte Auswertung erfolgt noch)
- Cm(III) und LPS mit TRLFS: Komplexierung schon ab pH 1.6, 2 Cm-LPS Spezies im pH-Bereich 1.6 bis 11 und [LPS] 0.005 bzw. 0.05 g/L anhand der Lebensdauern und Einzelkomponentspektren isoliert (detaillierte Auswertung erfolgt noch)

Ergebnisse, Teilziel 3 (AP5-AP7):

- Keine Abhängigkeit der U(VI)-Komplexierung von der Herstellungsweise der Bioligandfraktionen (keine Unterscheidung mehr in BL1 etc.), zwei U(VI)-Komplexe: UO<sub>2</sub>LH<sub>2</sub> und UO<sub>2</sub>LH- mit Stabilitätskonstanten und UV-vis Spektren bestimmt, Manuskript erarbeitet

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der Arbeiten zur Isolierung und Charakterisierung der natürlichen Bioliganden isoliert von Pseudomonaden in Göteborg
- Fortführung der Literaturrecherche und deren Auswertung
- Fortsetzung der Komplexierungsuntersuchungen von U(VI) mit den Pyoverdinfraaktionen mittels fs-TRLFS/TRLFS
- Arbeiten zur weiteren Charakterisierung des Lipopolysaccharids(LPS) und Komplexierungsuntersuchungen von Peptidoglykan mit U(VI)
- Beginn der Untersuchungen zur Cm(III)-Speziation mit den Bioligandfraktionen mittels TRLFS
- Komplexierungsuntersuchungen mit Cm(III) und ausgewählten Modellen (SHA, BHA, BA)
- Beginn der XAS Messungen zur Struktur der U(VI) Komplexe mit ausgewählten Modellen an ROBL/ESRF
- Vorbereitung der Teilnahme an der internationalen Konferenz Migration`07 (zwei Beiträge)
- Besuch von Prof. K. Pedersen im FZD/IRC im Mai (Projektabsprachen)
- Vorbereitung der Np(V) Experimente (Herstellung und Charakterisierung der Stammlösung) Auswertung der TRLFS Arbeiten von Cm(III) mit LPS

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9995</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2005 bis 31.05.2009		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 169.825,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Noseck	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Vorhabens soll das Verständnis zum geochemischen Verhalten von Schadstoffen in natürlichen Systemen und zum Einfluss von organischer Materie auf diese Prozesse erhöht werden. Schwerpunktmäßig soll das Verhalten organischer Materie und das geochemische Verhalten von Uran und anderen Spurenelementen unter Bedingungen, wie sie im Fernfeld von Endlagern in Salzformationen auftreten, charakterisiert und beschrieben werden.

Das Vorhaben baut auf den Ergebnissen des Projekts „Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen“ (FKZ 02E9551) auf und stellt den nationalen Beitrag zur Komponente RTDC-5 des integrierten EC-Projekts FUNMIG dar. Partner in dieser Komponente sind INE (Institut für Nukleare Entsorgung), NRI (Nuclear Research Institute), Czech Republic und University Helsinki, Finland.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im ersten Arbeitsschritt sollen vom INE Kolloidmessungen am Standort Ruprechtov durchgeführt werden. Der Beitrag der GRS umfasst die Durchführung zeitgleicher Messungen des Eh- und pH-Werts mit einer In-situ-Sonde und Messungen der Grundwasserzusammensetzung in den entsprechenden Grundwassermessstellen am Standort Ruprechtov.

Im zweiten Arbeitsschritt soll mit modernen analytischen Methoden wie  $\mu$ -XRF (INE) und U(IV)/U(VI)-Trennung (University Helsinki) der geochemische Zustand von Uran in natürlichen Sedimentproben vom Standort Ruprechtov mit einem hohen Urangehalt analysiert und charakterisiert werden. Der Beitrag der GRS besteht in der Identifikation und Verteilung geeigneter Proben und in der chemisch-mineralogischen Charakterisierung dieser Proben.

Der dritte Arbeitsschritt hat die Integration der Ergebnisse aus den beiden anderen Arbeitsschritten zusammen mit den bereits vorliegenden Daten zum Standort Ruprechtov zum Inhalt. Es soll eine möglichst genaue Beschreibung der Prozesse zum Verhalten von organischer Materie im Hinblick auf die Bildung von Huminkolloiden und auf das geochemische Verhalten



von Uran und anderen Spurenelementen in einem natürlichen System, das dem eines Deckgebirges über einem Salzstock ähnlich ist, erreicht werden. Als Task Leader des RTDCs ist GRS für die Koordination aller Arbeiten verantwortlich.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AS1: Durchführung von Kolloidmessungen an Wässern anderer Standorte und Vergleich der geochemischen Randbedingungen und Kolloidkonzentrationen mit denen vom Standort Ruprechtov.  
Überprüfung der Abweichung der Eh-Werte von früheren Messungen in drei Bohrungen im Norden des Untersuchungsgebiets. Umfangreiche Pumpversuche ergaben, dass sich aufgrund der extrem geringen Wasserbewegung und der langen Nichtbeprobung oxidierende Bedingungen in den betrachteten Horizonten eingestellt hatten.
- AS2: Clusteranalysen der Ergebnisse aus sequentiellen Extraktionen von Sediment- und Granitproben (NRI) zeigen eine starke Korrelation von U, As und P und bestätigen damit die Ergebnisse der  $\mu$ -spektroskopischen Rastermessungen des FZK-INE. Die neuen U(IV)/U(VI)-Bestimmungen von der Universität Helsinki bestätigen zudem, dass U(IV) in der U-Anreicherung überwiegt und über lange Zeiträume stabil ist. Bei dem kleineren Anteil U(VI) handelt es sich um einen rezenten Eintrag.
- AS3: Zusätzliche Isotopenmessungen von  $^{34}\text{S}$  in gelöstem Sulfat und an dem wieder verfügbaren Bohrloch NA6 sowie zwei weiteren Bohrlöchern bestätigen die bisherigen Ergebnisse: eine signifikante Erhöhung des  $^{34}\text{S}$ -Gehalts im Ton Lignit-Horizont. Weitergehende Auswertungen unter Einbeziehung der DIC- und DOC-Gehalte sowie der Kohlenstoffisotop-Signaturen und Dokumentation dieser Arbeiten in den Proceedings des 2-jährlichen FUNMIG-Workshops.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AS1: Anfertigung einer Veröffentlichung zu den Kolloiduntersuchungen am Standort Ruprechtov und Granitstandorten mit Aussagen zur Kolloidstabilität unter verschiedenen geochemischen Randbedingungen.
- AS2: Durchführung der U(IV)/U(VI)-Trennung an weiteren Proben und Integration der Ergebnisse aus Extraktionsverfahren, U-Desorption,  $\mu$ -XRF und U-Isotopengehalten in Grundwässern. Quantifizierung und Beschreibung der verschiedenen Uranphasen. Beginn mit Adsorptionsexperimenten von Uran an den natürlichen Sedimenten (NRI).
- AS3: Inverse Modellierung zur Beschreibung der Kohlenstoffisotop-Signaturen in verschiedenen Grundwässern und Identifizierung der Reaktionen. Einbeziehung der Ergebnisse zur Charakterisierung sedimentären organischen Kohlenstoffs.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Suksi, J.; Noseck, U.; Salminen S.: Uranium redox state and  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  ratio analyses in uranium rich samples from ruprechtov site. Proceedings of the 2nd Annual Funmig-Workshop, Stockholm, 21.-23. November 2006.

Noseck, U.; Brassler, T.; Laciok, A.; Hercik, M.; Havlová, V.; Buckau, G.; Rozanski, K.; Dulinski, M.: Evaluation of isotope data from Ruprechtov site. Proceedings of the 2nd Annual Funmig-Workshop, Stockholm, 21.-23. November 2006.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10015</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2005 bis 31.07.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 500.312,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Hampe	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Untersuchung und Quantifizierung der transportrelevanten Parameter zur Beurteilung der Vorgänge in der Auflockerungszone nach deren Wiederaufsättigung und Gasbildung in den Einlagerungsräumen. Zu untersuchen ist, unter welchen Bedingungen Korrosions- und Degradationsgase das in den Rissen und Poren vorhandene Formationswasser verdrängen können, und ob sich dadurch wieder Wegsamkeiten bilden können.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Erstellung der detaillierten Versuchsmatrix und Festschreibung der Variationsbandbreiten der Untersuchungsparameter.
- Modifikation vorhandener Versuchseinrichtungen. Die aus vorlaufenden Projekten vorhandenen Versuchseinrichtungen müssen der geänderten Probengeometrie und den Versuchsbedingungen angepasst werden.
- Untersuchung der Riss- und Porengeometrie mittels unterschiedlicher Verfahren. Neben etablierten Verfahren sollen innovative Methoden zur Untersuchung der Porosität und der Porengeometrie eingesetzt werden.
- Durchführung der zentralen Experimente zum Durchlässigkeitsverhalten und Gastransport. In Abhängigkeit von Überlagerungsdruck, Gas- bzw. Flüssigkeitseintrittsdruck und Temperatur werden Änderung von Permeabilität, Fluiddurchbruch sowie Verdrängung von Flüssigkeit durch Gas untersucht.
- Auswertung, Bewertung und Dokumentation

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Fortsetzung der stationären und instationären Permeabilitätsmessungen.
- Inbetriebnahme einer Messstrecke zu Messung der Diffusion von Wasserstoff und Stickstoff durch Tonproben. Erste Messungen ergaben bei einer Tonprobe mit einer Permeabilität von ca.  $1 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$  Diffusionskoeffizienten von ca.  $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Fertigstellung der Versuchstrecke zur Untersuchung des Einflusses von feuchtem Gas auf die Kompaktions- und Durchlässigkeitseigenschaften der Tonproben. Bei Tonproben, die vor der Permeabilitätsmessung bei  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  bis auf Gewichtskonstanz getrocknet waren, war weder infolge des Durchströmens mit feuchtem Gas (90 % r. F.) noch infolge des Durchströmens mit Formationswassers eine wesentliche Verringerung der Permeabilität festzustellen.
- Untersuchung des Einflusses der Kompaktierung des Tons infolge des Überlagerungsdruckes auf die Stofftransportmechanismen. Bei parallel zur Schichtung erbohrten Tonproben, die im bergfeuchten Zustand untersucht wurden, konnte mit Hilfe von Messungen bei unterschiedlichen Gasdrücken, Rückschlüsse auf die Änderung der Porenstruktur infolge der Kompaktion der Tonproben gezogen werden.
- Vergleich der am Markt verfügbaren Software zur numerischen und analytischen Untersuchung der Lösungseigenschaften partieller nichtlinearer Differentialgleichungen zur Bestimmung der Transportporosität durch instationäre Permeabilitäts- und Diffusionsexperimente. Auswahl des Softwarepakets Mathematica; Implementierung der Problemstellung durchgeführt.
- Weiterführung der Untersuchungen des durch die Proben permeierten Formationswassers mittels Atomabsorptionsspektrometrie.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der laufenden Untersuchungen zur Bestimmung der stationären Permeabilität.
- Fortführung der Untersuchungen zur Bestimmung der zugänglichen Porosität über instationäre Permeabilitätsmessungen und Vergleich mit den Simulationsrechnungen.
- Diffusionsmessungen zur Bestimmung binärer Diffusionskoeffizienten in Abhängigkeit vom absoluten Gasdruck.
- Untersuchungen zum Gasdurchbruch nach Probenaufsättigung und Wiederbeaufschlagung mit Gas.
- Vergleich der numerischen und analytischen Ergebnisse. Vergleich und Evaluation verschiedener Modelle zur Beschreibung poröser Medien.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10025</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2005 bis 31.07.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 463.334,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Michel	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Als mögliche Anionen-Adsorber in geotechnischen Barrieren in Endlagern für radioaktive Abfälle haben sich bestimmte Organotone bereits als grundsätzlich geeignet erwiesen. Unter Laborbedingungen zeigten sie eine gute Sorptionsfähigkeit für Radioiod. Zum Nachweis von Funktion und Langzeitstabilität sollen die Organotone nun unter simulierten Endlagerbedingungen, d. h. erhöhter Temperatur, ionisierender Strahlung, Einfluss von Mikroorganismen und in Wechselwirkung mit gelöster organischer Substanz (DOM) geprüft werden.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Herstellung von Organotonen im Labormaßstab
- AP2: Exposition der Organotone (Temperatur, Strahlung, Mikroorganismen)
- AP3: Sorptionstests in Batchversuchen vor und nach der Exposition
- AP4: Strukturanalyse der Organotone in situ bei verschiedenen Temperaturen sowie vor und nach der Exposition
- AP5: Wechselwirkung der Organotone mit gelöster organischer Substanz
- AP6: Kennzeichnung des Einflusses der Verteilung organischer und anorganischer Kationen im Zwischenschichttraum auf die Sorptionseigenschaften
- AP7: Monte-Carlo Simulationen der Zwischenschichtstruktur der Organotone und der Sorptionsprozesse

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Für die Exposition der Organotone gegenüber erhöhten Temperaturen wurde mit HDPy (Hexadecylpyridinium) bzw. BE (Benzethonium) belegter MX-80 Bentonit bei Temperaturen von 140, 150, 160, 170, 180 °C im Trockenschrank aufbewahrt. Mit TPP (Tetraphenylphosphonium) belegter Ton, bei dem sich im Vorversuch bei 90 und 140 °C kein Einfluss der Temperatur auf die Sorption gezeigt hatte, wurde einer Temperatur von 300 °C ausgesetzt. Für die Exposition gegenüber ionisierender Strahlung wurden die Organotone dem Strahlungsfeld einer Co-60-Quelle (Hahn-Meitner-Institut, Berlin) ausgesetzt. Die Proben erhielten Gesamtdosen von 0,25, 0,5, 1,0 und 2,0 und 4,0 MGy.

AP3: Die nach unterschiedlichen Zeiträumen entnommenen Teilproben aus der Temperatur-Exposition wurden im Batchversuch hinsichtlich ihrer Sorptionsfähigkeit für Iod überprüft. Es zeigte sich eine Abhängigkeit zwischen der Höhe der Temperatur und der Behandlungsdauer, wobei die Behandlungsdauer, ab der eine Veränderung bei der Iod-Sorptionsfähigkeit der Organotone eintrat, mit steigender Vorbehandlungstemperatur abnahm. Die derzeitige Datenlage lässt noch keine Aussage über eine mögliche „kritische Temperatur“ zu.

Die Exposition gegenüber Gammastrahlung wirkte sich bei den untersuchten OT unterschiedlich auf deren Sorptionsfähigkeit aus. Am stabilsten zeigte sich HDPy-Ton, dessen Iod-Sorptionsvermögen bei Konzentrationen im Bereich von  $10^{-3}$  bis  $10^{-5}$  mol L<sup>-1</sup> (entspr. 2,5 bzw. 0,025 g Iod pro kg OT in den vorliegenden Batchversuchen) im Dosisbereich bis 1 MGy keine Veränderungen aufwies. Die Kapazität des TPP- bzw. BE-Tons ging unter denselben Bedingungen um rund 5-10 % gegenüber dem Wert für nicht exponierte Proben zurück.

AP4: Mit der beschafften Heizkammer konnten „in situ“ FTIR-Messungen zur thermischen Stabilität der verschiedenen Organotone begonnen werden. C-H-Deformationsschwingungen und C-H-Valenzschwingungen wurden für die Kennzeichnung der durch Temperatur bedingten Veränderungen verwendet. Die auch in anderen Untersuchungen (TG/DSC, XRD) festgestellte relativ hohe thermische Stabilität von TPP-Montmorillonit bis ca. 400°C wurde bestätigt. Auch strukturelle Änderungen bei den mit  $\gamma$ -Strahlung behandelten Tonen wurden mittels FTIR-Spektroskopie untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass in HDPy- und BE-Bentoniten infolge der Exposition eine neue Bindungsart entsteht. TPP-Bentonite weisen keine Veränderungen ihrer chemischen Struktur aufgrund der Strahlungs- bzw. Temperaturbehandlung auf.

AP5: Batchversuche zur Untersuchung der Wechselwirkung von gelöster organischer Substanz (DOM) mit Organotonen wurden für die neu hergestellten Proben aus MX-80 (AmCol) wiederholt. Während für HDPy- und BE-Montmorillonit ein deutlicher Rückgang der Oberflächenladung festzustellen ist bleibt die für TPP-Montmorillonit weitgehend unverändert. Nach UV-VIS photometrischen Untersuchungen ist die desorbierte Menge organischer Kationen äußerst gering und liegt zum Teil an der Nachweisgrenze des Verfahrens. Die Quantifizierung des sorbierten DOM soll mit Hilfe eines im November 2006 beschafften TOC-Analysators erfolgen.

AP6: Der Einfluss verschiedener Mengen organischer Kationen an den äußeren Oberflächen auf den Stofftransport in Tonen wurde mit FTIR-ATR-Spektroskopie über Wasserdurchbruchskurven (Advektion) und H-D-Austauschexperimente untersucht. Im Bereich des Ladungsnullpunktes mit größter Hydrophobie (Kontaktwinkel  $>90^\circ$ ) wurde der schnellste Wasserdurchbruch festgestellt. Zunehmende Mengen organischer Kationen führen zu einer Verringerung des Diffusionskoeffizienten für Protonen. Für HDPy- und BE-Montmorillonit wurde eine deutliche Abnahme der Advektionsgeschwindigkeit und des Diffusionskoeffizienten mit Zunahme der organischen Kationen beobachtet, während TPP-Montmorillonit konstante Werte für die Advektion bzw. Diffusion zeigt.

AP7: Mit Hilfe von *ab initio* Berechnungen konnten die mittels FTIR-Spektroskopie festgestellten strukturellen Änderungen als Folge der Einwirkung von  $\gamma$ -Strahlung bei HDPy- und BE-Bentoniten als C=O Doppelbindung identifiziert werden. Eine Modellierung der Langzeitwirkung erhöhter Temperaturen erfordert eine Erweiterung von AP2, um ein Herantasten an den Punkt zu ermöglichen, ab dem die Veränderung der Sorptionsfähigkeit bei einer bestimmten Temperatur eintritt.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Versuche mit Temperaturexposition (zusätzlich sauerstofffreie Atmosphäre)
- Weiterführung der Versuche mit Strahlungsexposition
- Bestimmungen der Zwischenschichtabstände von Mischbelegungen an MX-80 (AmCol) mit Hilfe der Röntgenbeugungsanalyse
- Quantifizierung der DOM-Sorption und Desorption organischer Kationen mittels TOC-Analysator und UV-VIS Photometrie
- Fortführung der H-D-Austauschexperimente zur Untersuchung des diffusiven Transportes in Organotonen verschiedenen Belegungsgrades mit FTIR-ATR-Spektroskopie. Bau einer Heizkammer für temperaturabhängige Untersuchungen

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

*Schampera, B., S. Dultz (2006):* Effects of microstructure and wettability on transport in organo-clays: first results from FTIR-ATR-spectroscopy. Beih. Z. Eur. J. Mineral. 18, 105.

*Schampera, B., S. Dultz:* Effects of microstructure and wettability on transport in organo-clays. Poster, und *Riebe, B., Dultz, S., Bunnenberg, C.:* Kinetics of thermally induced changes of basal spacings and sorption performance of organically modified bentonites. Vortrag, beide: Jahrestagung der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe in Valkenburg/NL (4.-6. Oktober 2006).

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10035</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2005 bis 30.06.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 389.880,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kim

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Erforschung der Bildung von aquatischen Kolloiden, wie Actinidionen darin inkorporiert werden und wie die kolloidgetragene Migration der Actinide ablaufen wird. Die Entstehung von aquatischen Kolloiden im Nahbereich eines Endlagers wird zwangsläufig von einer Wechselwirkung mit den im Grundwasser gelösten Actinidionen begleitet sein. Actinidhaltige Kolloide (Pseudokolloide von Actiniden genannt) die dabei erzeugt werden, können dann ungehindert mit dem Grundwasser migrieren. Angesichts der Tatsache, dass die kolloidgetragene Migration der Actinide der größte Unsicherheitsfaktor eines nuklearen Endlagers darstellt, ist eine genaue Analyse der Entstehungsprozesse von aquatischen Kolloiden sowie von Pseudokolloiden von Actiniden unerlässlich. Die Bildung dieser Kolloide beruht auf vielfältigen und komplizierten Reaktionsverläufen, die nicht direkt in natürlichen Systemen untersucht werden können, sondern nur an Einzelvorgängen und durch Simulationen in Laborsystemen schrittweise aufgeklärt werden können.

Dieses Vorhaben, das sich mit den Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden befasst, ist als eine Ergänzung zum Vorhaben 02E9763 zu sehen. Letzteres Projekt befasst sich hauptsächlich mit anorganischen aquatischen Kolloiden bzw. entsprechenden Pseudokolloiden von Actiniden. Das Forschungsprojekt wird in Kooperation und mit Unterstützung des Instituts für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK-INE) durchgeführt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- (I): Untersuchung der Bedingungen für die Bildung und Stabilität von Huminkolloiden
- (II): Untersuchung der Wechselwirkungen von Actiniden mit Huminkolloiden
- (III): Untersuchung des Migrationsverhaltens von Actiniden in kolloidalem Zustand

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In unseren früheren Arbeiten wurde gezeigt, dass Actinide mit anorganischen Elementen wie Si und Al eine Conukleation eingehen unter Bildung von Hydroxy-Aluminosilicat (HAS)-gebundenen Actiniden, unter der Bedingung, dass hydrolysierte Actinid-Spezies vorliegen. Es wurde weiter nachgewiesen, dass alle Faktoren, die die Hydrolyse des Actinids begünstigen, wie hoher pH, hohe Si(Al)-Konzentration etc., auch die Bindungsaffinität zwischen Actinid und HAS Kolloiden erhöhen. In einem weiteren Schritt wurde erkannt, dass die Anwesenheit von Huminsäure ein gegenläufiger Faktor ist, der die Hydrolyse des Actinids zurückdrängt, und dadurch unter Umständen neben einer Conukleation des Actinids mit Si/Al, gleichzeitig eine Komplexierung des Actinids mit Huminsäure ermöglicht. Anhand von verschiedenen Methoden wurde die synergistische Wirkung von HAS und Huminsäure um Actinide in die kolloidale Phase zu überführen erkannt, und die Bildung von Pseudokolloid-Hybriden nachgewiesen.

In diesem Vorhabenszeitraum wurden Anorgano-Huminkolloiden von der Seite der Huminsäure, die im relevanten pH-Bereich (4 – 9) für etwa 80 % als Huminkolloide vorliegt, beleuchtet. Dabei wurde insbesondere die wesentliche Frage gestellt, warum die Bindungsaffinitäten von Actiniden oder Actinid-Analogen, die sich durch natürliche Prozesse in der Huminsäure geankert haben, um ein vielfaches höher sind als solche die durch Kom-

plexierung der Actinide mit gereinigter Huminsäure in Laborexperimenten erreicht werden konnten [1]. Zur Aufklärung der Ursache dieses oft beobachteten Phänomens, wurden die Mechanismen, die die Bindungsaffinität von Huminkolloiden für Metallionen mit hoher Oxidationsstufe ( $\geq 3$ ) (Actinide) in natürlichen aquatischen Systemen regulieren, analysiert.

Im Experiment wurde  $^{241}\text{Am}(\text{III})$  oder  $^{234}\text{Th}(\text{IV})$  mit  $^{14}\text{C}$ -markierter Huminsäure konditioniert. (Die Kolloide wurden vom Präzipitat und von der Lösung durch aufeinander folgende Filtrationen bei 450 nm bzw. 1.5 nm getrennt). Die Bildung von kolloidgebundener Huminsäure und - Actinid im neutralen pH Bereich wurde radiometrisch bestimmt. Dazu wurde die Phasenverteilung von  $^{14}\text{C}$  und Am(Th) separat unter Variation des pH's, der Konzentration der Reaktionskomponenten, Konditionierungszeit sowie Temperatur in einem umfangreichen Screening-Experiment bestimmt. Die Actinid/Kolloid Bindungsaffinitäten wurden aus dem Verhältnis der Fraktionen von kolloidgebundenem  $^{14}\text{C}$  und Am(Th) abgeschätzt, und zusätzlich mittels der Liganden-Verdrängungsmethode evaluiert. Es wurde gezeigt, dass die Bindungsaffinität zwischen Am oder Th und Huminsäure, die zur Inkorporation der Actinide in der kolloidalen Phase führt, mit deren unterschiedlichen Hydrolyse-Neigungen korreliert werden kann. Eine von der Huminsäure bevorzugte Komplexbildung mit dem  $\text{Am}^{3+}$  Ion, das eine viel geringere Neigung zur Hydrolyse zeigt als das  $\text{Th}^{4+}$  Ion, wurde nachgewiesen. Es wurde aber auch demonstriert, dass das ursprüngliche Hydrolyse-Potential des Ions unterdrückt werden kann und seine Bindungsaffinität zu Huminsäure entsprechend erhöht wird bei veränderten Werte der thermodynamischen sowie kinetischen Löslichkeitsparameter.

Aus den Ergebnissen können wir folgende Schlüsse ziehen: Hinter der Bindungsaffinität von Huminkolloiden für Actinide steht das Hydrolyse-Potential der Actinide. Letzteres wird durch die thermodynamischen und kinetischen Parameter der Löslichkeit beeinflusst. Niedriger pH, geringe Actinid-Mengen versus hohe Huminsäure-Konzentrationen, lange Reaktionszeiten und/oder erhöhte Temperaturen, verschieben das Gleichgewicht zwischen ionischen und hydrolysierten Actinid-Spezies zugunsten der kationischen Spezies. Unter Natur-relevanten Bedingungen, z. B. bei neutralem pH, 1 - 100 mg/L Huminsäure und  $\leq 10^{-5}$  M Am oder Th, sind die wahrscheinlich auftretenden Am(Th)-Spezies,  $\text{Am}^{3+}$  und  $\text{Th}^{4+}$ , die eine sehr starke Chelat-Komplexbildung (irreversible Bindung) mit Huminkolloiden eingehen können.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Durch Wechsel der Projektleitung zum 1.2.2007 wird sich eine Verzögerung bei der Fortführung der Arbeiten ergeben..

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

##### *Veröffentlichungen:*

M.A. Kim, P.J. Panak, D.C. Breban, A. Priemyshev, J.I. Yun, A. Mansel, J.I. Kim: "Interaction of Actinides(III) with Aluminosilicate Colloids. Part IV. Influence of Humic Acid", Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, in print.

M.A. Kim, D.C. Breban, A. Priemyshev, A. Mansel, J.I. Kim: "Interaction of Actinides(IV) and Actinides(VI) with Aluminosilicate and Humic Colloids", Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, in preparation.

##### *Dissertation:*

D. Breban, "Provenance and Characterization of Aquatic Actinide Colloids: Nucleation of Aluminosilicate Colloids with Actinides", Fakultät für Chemie, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg (2006).

##### *Konferenzen:*

Abschlussworkshop zum Verbundprojekt: „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“, Mainz (2006):

D.C. Breban, M.A. Kim, P.J. Panak, A. Priemyshev, A. Mansel, J.I. Yun, J.I. Kim, „Formation of Colloid-borne Actinides in Aluminosilicate-Humate Solutions“.

The 6<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Environmental Monitoring, Heidelberg (2006):

J.I. Kim, M.A. Kim, J.I. Yun, P.J. Panak, "Aquatic Colloids: Provenance, Characterisation and Significance to Environmental Monitoring".

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10045</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2005 bis 30.06.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 862.094,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Rothfuchs

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zur Vorbereitung der Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle in einer Tonsteinformation hat die französische Endlagerorganisation ANDRA im Sommer 2000 mit der Errichtung eines Untertagelabors in der Callovo-Oxfordian Tonsteinformation am Standort Meuse/Haute Marne im Pariser Becken begonnen. In diesem Untertagelabor wird seit Ende 2004 ein Forschungsprogramm durchgeführt, um Kenntnisse über die Tonsteinformation zu gewinnen und ihre Eignung als Wirtsgestein für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle nachzuweisen. Eine vorläufige Standortbewertung muss dem französischen Parlament bereits im Jahr 2006 vorgelegt werden.

Im Rahmen eines Kooperationsvertrages zwischen ANDRA/CEA und BMWi besteht die Möglichkeit, sich an diesem Forschungsprogramm zu beteiligen und eigenes Know-how zur Endlagerung gefährlicher Abfallstoffe in geologischen Tonformationen aufzubauen. Das Ziel der Beteiligung besteht in der Vertiefung des Verständnisses gekoppelter THM-Prozesse im konsolidierten Tonstein und der Verifizierung entsprechender konstitutiver Modelle. Hierzu werden numerische Simulationen von In-situ-Experimenten und Laboruntersuchungen zur Bereitstellung der in den Modellen verwendeten Materialparameter durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: **Modellierung:** Zum besseren Verständnis der gekoppelten THM-Prozesse sowie zur Verifizierung der aktuell eingesetzten konstitutiven Modelle sind numerische Simulationen der Experimente REP und TER vorgesehen.

AP2: **Laboruntersuchungen:** Sie dienen der Charakterisierung des Tongesteins und der Ermittlung der in den konstitutiven Modellen verwendeten Materialparameter, mit deren Hilfe die *in situ* durchgeführten Experimente und Messungen verifiziert bzw. interpretiert werden. Folgende Untersuchungen sind vorgesehen: Ein- und dreiaxiale Kriechversuche, Quelldruckbestimmungen, Schädigungs- und Verheilungsverhalten, Fluidausbreitung



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**REP-Modellierung:** Die Modellierung der Schachtabteufung mittels eines axialsymmetrischen Modells, das die Geometrie und Abteufungschronologie berücksichtigt, allerdings die Spannungs-anisotropie vernachlässigen muss, und mit einem thermo-elastoplastischen Stoffansatz wurde vorbereitet.

**Laboruntersuchungen:** Bislange sind 13 einaxiale Kriechversuche bei Belastungen von 1 bis 9 MPa über ein Jahr gelaufen. Jede Belastungsstufe dauerte ca. 4 bis 8 Monate. Bei erhöhter Spannung verformte der Tonstein schneller. Nach einer Spannungsreduzierung von 9 auf 5 MPa wurde auch eine deutliche Kriechverformung beobachtet. Parallel hierzu wurden 2 triaxiale Kriechversuche bei einer Axialspannung von 15 MPa und einem Manteldruck von 12 MPa durchgeführt. Im Vergleich mit den einaxialen Kriechversuchen wurden bei den triaxialen Belastungen deutliche geringere Kriechraten gemessen. Eine Temperaturerhöhung von 30° C auf bis zu 150° C bewirkte eine deutliche Volumenreduzierung. An 12 Kernproben aus einer 13 m tiefen Horizontalbohrung des Hauptschachtes in 480 m Tiefe des Bure-UntertageLABORS wurden Gaspermeabilitätsmessungen bei einem Manteldruck von 2.2 MPa und einem Gasinjektionsdruck von 1.6 MPa über 20 bis 50 Tage durchgeführt. Von zwei durch die Präparation geschädigten Proben abgesehen wurden sehr niedrige Permeabilitätswerte von  $1\text{E}-21$  bis  $1\text{E}-20$  m<sup>2</sup> über die gesamte Bohrlochlänge gemessen. Eine Auflockerungszone im umgebenden Tongebirge konnte somit nicht nachgewiesen werden. Außerdem wurden die Wasseraufnahme bzw. der Wasserverlust des Tonsteins bei unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten von 20 % bis 100 % untersucht und die Beziehung zwischen Saugspannung und Wassersättigungsgrad bestimmt. Die Untersuchungen zum Primärzustand des Callovo Oxfordian Auffahrungsrückstandes bzgl. seiner Eignung als Versatzmaterial wurden abgeschlossen. Im Primärzustand hat das Referenzmaterial einen Wassergehalt von 6,8 % und eine optimale Proctordichte von 1,84 g/cm<sup>3</sup>. Zur Bestimmung der für die numerische Simulationen benötigten Modellparameter wurden Laborversuche durchgeführt, die den Sekundär- und Tertiärzustand des Versatzmaterials beschreiben. Insgesamt werden 6 einaxiale Kompaktionsversuche bei Drücken <1 MPa sowie 14 Versuche bei Drücken <25 MPa vorgenommen. Fünf gekoppelte HM-Gaspermeabilitätsversuche in Abhängigkeit von der Druckspannung bei Be-, Ent- und Wiederbelastung im Bereich von 2 MPa bis 25 MPa wurden beendet. Die Gaspermeabilität lag zwischen  $1,5 - 7,4\text{E}-14$  m<sup>2</sup>. Sechs Quellhebungsversuche nach Huder-Amberg werden durchgeführt. Außerdem wurden über einen Zeitraum von 1 bis 5 Monaten Auf- und Entsättigungsversuche bei unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten im Bereich von 12 % bis 100 % vorgenommen. Dabei zeigten die Proben unterhalb von 90 % Luftfeuchte eine Entsättigung bis 0,28 % und oberhalb eine Aufsättigung um bis zu 0,37 %. Versuche zur Bestimmung der Wasserpermeabilität an ungesättigtem CO-Referenzmaterial bei Druckstufen von 2 MPa bis 25 MPa dauern an.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der einaxialen Kriechversuche
- Untersuchung der Gaspermeabilität in Abhängigkeit von Schädigung und Kompaktion
- Starten der triaxialen THM-Versuche
- Entnahme großer Tonkerne aus dem URL Bure
- Bestimmung von Materialparametern für Modellrechnungen
- Weitere Modellierung der Experimente MODEX-REP und TER

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10055</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2005 bis 31.03.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 253.530,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Buhmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Die gemeinsame Bearbeitung durch BGR, GRS und DBE TECHNOLOGY soll eine ausgewogene und vollständige Betrachtung aller Instrumentarien gewährleisten. Sofern erforderlich, sollen zu Einzelfragen weitere Forschungseinrichtungen hinzugezogen werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erstellung eines Referenzkonzeptes
  - AP2: Bewertung der Betriebssicherheit
  - AP3: FEP-Generierung und Szenarientwicklung
  - AP4: Integritätsnachweis geologischer Barrieren
  - AP5: Nachweiskonzept zur Integrität der einschlusswirksamen technischen Barrieren
  - AP6: Ermittlung und Bewertung nicht auszuschließender Freisetzungsszenarien
  - AP7: Nachweiskonzepte für die Einhaltung der nicht radiologischen Schutzziele in der Nachbetriebsphase
  - AP8: Empfehlungen für zukünftig erforderliche FuE-Arbeiten
  - AP9: Projektleitung und Dokumentation
- GRS ist federführend für das Arbeitspaket 6. Dieses gliedert sich in die Unteraufgaben:
- AP6.0: Ermittlung der repräsentativen Freisetzungsszenarien
  - AP6.1: Konzept- und Modellentwicklung
  - AP6.2: Konsequenzenanalyse

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Allgemein: Projektgespräche am 19.07.2006, 04.09.2006, 30.10.2006 und 30.11.2006;

- AP3:- Kritische Durchsicht der aktualisierten FEP-Liste der BGR zur Übernahme in AP6
- AP5:- Vorbereitung des Projektgesprächs (30.10.) über das Verhalten von Salzgrus bei geringen Porositäten; Permeabilitäts-Porositäts-Beziehung; Konvergenz. Zusammenstellung des bisherigen Kenntnisstands bei GRS
- AP6.0:- Entwicklung relevanter Freisetzungsszenarien an Hand der FEP-Liste der BGR; Zusammenstellung weiterer freisetzungsrelevanter FEP
- AP6.1:- Entwicklung des Konzepts zur Bewertung der radiologischen Konsequenzen
  - Modellentwicklungen für ein detailliertes Grubengebäude mit HAW (Strukturmodell, Segmentmodelle (u. a. für einen Laugeneinschluss), usw.); Zusammenstellung von Eingangsdaten
- AP6.2:- Durchführung von Modellrechnungen am detaillierten Grubengebäude. Zusammenstellung verschiedener Indikatoren zur Bewertung der Langzeitsicherheit

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP6.0:- Dokumentation der relevanten Freisetzungsszenarien und freisetzungsrelevanten FEP
- AP6.1:- Dokumentation des Konzepts zur Bewertung der radiologischen Konsequenzen
  - Entwicklung und Dokumentation des Konzepts zur Bewertung der Kritikalitätssicherheit
- AP6.2:- Fertigstellung der Modellrechnungen und Dokumentation

Allgemein: Teilnahme an Projektgesprächen

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10065</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2005 bis 31.03.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 456.962,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Krone	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das wesentliche Ziel des Vorhabens liegt in einer wissenschaftlich fundierten Überprüfung und Bewertung des erreichten Standes von Wissenschaft und Technik im Hinblick auf die Qualität und Vollständigkeit des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW in Salzformationen.

Auf der Grundlage der vorliegenden Kenntnisse sowie unter Heranziehen international bewährter Konzepte für Sicherheitsanalysen zu HAW-Endlagern wird zunächst ein Sicherheitsnachweis- und Referenzkonzept für ein HAW-Endlager entworfen. Dabei hat eine gesamtheitliche Betrachtung des Endlagersystems sowohl hinsichtlich seiner technischen Realisierbarkeit als auch bezüglich der Einhaltung der Sicherheitsanforderungen unter Einbeziehung aller seiner maßgeblichen Komponenten zu erfolgen.

Es sind Vorgaben zum geologischen Referenzmodell und zum Planungskonzept zu erarbeiten. Neben der Bewertung von Fragen der Betriebssicherheit ist vor allem die FEP-Generierung und damit das Gebiet Szenarienentwicklung wesentlich. Ergänzend zu den Aspekten, die die Erstellung eines Nachweiskonzeptes zur Integrität der geologischen und der technischen Barriere zum Gegenstand haben, ist im Hinblick auf die Langzeitsicherheit die Bewertung möglicher Freisetzungsszenarien von Bedeutung. Damit kann ein Forderungskatalog zu den erforderlichen Instrumentarien erstellt werden, an Hand dessen geprüft werden kann, inwieweit adäquate Instrumentarien bereits zur Verfügung stehen und wie deren Anwendbarkeit auf der Grundlage vorliegender FuE-Ergebnisse zu bewerten ist.

Im Ergebnis einer Defizitanalyse werden Schwerpunkte und Zielstellungen für zukünftige ergänzende FuE-Arbeiten formuliert, so dass eine systematische Ausrichtung zukünftiger FuE-Arbeiten auf die Erfordernisse der Endlagersicherheitsforschung abgebildet werden kann.

Das Vorhaben wird arbeitsteilig mit der BGR Hannover und der GRS Braunschweig abgewickelt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erstellung eines Referenzkonzeptes
- AP2: Bewertung der Betriebssicherheit
- AP3: FEP-Generierung und Szenarienentwicklung - BGR
- AP4: Integritätsnachweis geologischer Barrieren - BGR
- AP5: Nachweiskonzept zur Integrität der einschlusswirksamen technischen Barrieren
- AP6: Ermittlung und Bewertung nicht auszuschließender Freisetzungsszenarien - GRS
- AP7: Nachweiskonzepte für die Einhaltung der nicht-radiologischen Schutzziele in der Nachbetriebsphase
- AP8: Empfehlungen für zukünftig erforderliche FuE-Arbeiten

AP9: Projektleitung und Dokumentation

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zu AP1: Die Arbeiten zur Erstellung des Referenzkonzeptes wurden abgeschlossen. Dazu zählen die Zusammenstellung eines repräsentativen Abfallinventars unter Berücksichtigung von Daten der Industrie in einem separaten Bericht sowie die konzeptionelle Auslegung eines Grubengebäudes auf Basis einer gezielten thermischen Berechnung. Die für die Einlagerung erforderlichen Komponenten und Techniken wurden beschrieben und hinsichtlich sicherheitlich relevanter Themen bewertet. Das geologische Standortmodell für einen Referenzendlager wurde von BGR in einem separaten Bericht zusammengestellt.

Zu AP2: Die Überprüfung der Nachweiskonzepte zur Betriebssicherheit ergab, dass die erforderlichen sicherheitstechnischen Instrumentarien vorhanden sind. Auswirkungen möglicher Aerosol-Sedimentationen im Grubengebäude könnten ggf. noch untersucht werden.

Zu AP3: BGR wird die abgeschlossenen Arbeiten zur Generierung einer vollständigen FEP-Liste in einem Bericht hinsichtlich angewandter Methodik zur FEP-Systematisierung und Szenarienentwicklung darstellen. In einem neuen Arbeitspaket sollen weitere Untersuchungen dazu erfolgen.

Zu AP4: BGR hat ein Konzept zum Integritätsnachweises für die geologischen Barrieren auf Basis des Dilatanz- und Laugendruckkriteriums erarbeitet. Im nächsten Schritt soll eine Erweiterung hinsichtlich der Berücksichtigung geogener und technogener Einwirkungen erfolgen.

Zu AP5: Die Arbeiten zum Integritätsnachweis für die technischen Barrieren wurden weitergeführt. Für die einzelnen technischen Barrieren Streckenverschluss und Schachtverschluss wurden vorhandene Nachweiskonzepte überprüft bzw. neu entwickelt und auf Vollständigkeit geprüft. Es zeigte sich dabei, dass insbesondere noch F+E-Bedarf beim Nachweis des Verhaltens der Auflockerungszone besteht, ggf. sind weitere Untersuchungen zur Vergütung dieses Gebirgsbereiches erforderlich.

Zu AP6: GRS hat auf Basis des im AP1 ermittelten Abfallinventars und der Endlagerkonzepte mögliche Freisetzungen von Radionukliden untersucht. Dabei wurde deutlich, dass der sichere Einschluss im Salz nachgewiesen kann, wenn die angesetzten Annahmen zu Szenarien und Stoffverhalten zutreffen. Weitere Untersuchungen sollen klären, welchen Einfluss Variationen haben können.

Zu AP7: Die Nachweiskonzepte zum Schutz der Tagesoberfläche wurden untersucht. Es wurde festgestellt, dass grundsätzlich hinreichende sicherheitstechnische Instrumentarien vorliegen, so dass kein weiterer F+E-Bedarf identifiziert wurde.

Bei der Untersuchung von Nachweiskonzepten zum Grundwasserschutz wurde festgestellt, dass es höhere Anforderungen im Bereich Endlagerung gibt als bei der Ablagerung von chemisch-toxischen Stoffen. In weiteren Arbeiten sollte dies ebenso wie die Übertragbarkeit vorhandener Konzepte auf weitere Wirtsgesteine genauer analysiert werden.

Zu AP8: Aufbauend auf den Ergebnissen zu AP3, AP5 und AP6 wurde empfohlen, das Salzgruskompressionsverhalten durch Labor und in situ Untersuchungen insbesondere hinsichtlich des Langzeitverhaltens weiter zu untersuchen.

Zu AP9: Es wurde vereinbart, dass alle in den APs erstellten Berichte zum Projektende reviewt und in einem Abschlussbericht zusammengefasst werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Fortführung der Arbeiten ist in Übereinstimmung mit der Vorhabensplanung vorgesehen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10075</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lösungen bei Temperaturen bis 90° C – Kurztitel: FeT90		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2005 bis 30.09.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 620.157,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Moog	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel ist die Ermittlung von thermodynamischen Daten, die die geochemische Modellierung der Eisen(II)-Chemie bei Temperaturen zwischen 25 und 90° C ermöglichen.

Ein weiteres Ziel ist die Erweiterung des bestehenden Parametersatzes für basische Fe(II)-Lösungen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Literaturstudie
2. Dampfdruckmessungen
3. Löslichkeitsmessungen
4. Untersuchung fester Lösungen
5. Untersuchung metallischer Korrosionsprodukte in quinären, hochsalinaren Lösungen
6. Auswertung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### *Dampfdruckmessungen:*

Referenzdampfdrücke für NaCl-Lösungen bei verschiedenen Temperaturen konnten mit der aufgebauten Apparatur nicht nachvollzogen werden. Daher wurde mit dem Aufbau einer anderen Methode begonnen. Es handelt sich um eine für höhere Temperaturen ausgelegte isopiestic Messmethode.

#### *Literaturstudie:*

Es wurde eine Literaturstudie für das System Fe(II)-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O bei Temperaturen > 25° C begonnen.

#### *Löslichkeitsversuche*

Es wurden Vorversuche zur Darstellung von Fe(II)SO<sub>4</sub> und zur Löslichkeitsbestimmung im System Fe(II)-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O bei Temperaturen > 25° C durchgeführt. Es wurde mit dem Aufbau einer Apparatur zur Löslichkeitsbestimmung begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### *Dampfdruckmessungen:*

Validierung der neuen Apparatur am System NaCl-H<sub>2</sub>O.

#### *Literaturstudie*

Durchführung der Literaturrecherche für Fe(II) im System der ozeanischen Salze und für basische Fe(II)-Systeme.

#### *Löslichkeitsversuche*

Untersuchung des Systems Fe(II)-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O bei höheren Temperaturen. Dabei soll ein Verfahren zum Einsatz kommen, durch das in-situ entstandenes Fe(III) reduziert wird.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10086</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Auswirkung einer Temperaturerhöhung in Tonformationen in Deutschland im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit eines Endlagers und irreversible Veränderungen der potenziellen Wirtsformation -TemTon-			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2006 bis 31.07.2009		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.08.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 820.158,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Jobmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Wesentliche Veränderungen einer potenziellen Endlagerformation entstehen durch die bergtechnische Auffahrung der untertägigen Hohlräume und durch die Einbringung einer großen Wärmemenge von den wärmeentwickelnden Abfällen. Die Wärme belastet die geotechnische Barriere, das Nahfeld bzw. den unterirdischen Einlagerungsbereich und das Fernfeld in der Umgebung des gesamten Endlagers. Es ist Ziel dieses Vorhabens, die Temperaturbelastung auf die drei genannten Bereiche im Zusammenhang mit dem Isolationspotenzial der Wirtsformation sowie mit der ingenieurtechnischen Realisierbarkeit der untertägigen Bohrlochlagerung zu charakterisieren. Aktuelle Untersuchungen in einem anderen Vorhaben (GENESIS) zeigen, dass Endlagerkonzepte für Tonstein-Formationen in Deutschland erreicht werden können, wenn man die Wärmeleitfähigkeit des Buffermaterials durch Zusatzstoffe erhöht. Dadurch wird die eingebrachte Wärme besser in die Tonformation abgeführt. Um diese Konzepte hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit zu prüfen, sind entsprechende Materialuntersuchungen vorgesehen. Die eingebrachte Wärme bedingt auch permanente temperaturinduzierte Spannungsveränderung, deren Einfluss auf die Stabilität von Einlagerungsbohrlöchern analysiert werden soll.

Bei organischen Bestandteilen führt eine Temperaturerhöhung zu einer Reifung im Hinblick auf eine Kohlenwasserstoffgenese. Die Reifung organischer Bestandteile hängt wesentlich davon ab, welchen Temperaturen die Substanz im Laufe ihrer Geschichte ausgesetzt war und wie lange die Temperaturen gewirkt haben. Die durch die eingebrachte Wärme künstlich hervorgerufene Reifung vorhandener organischer Substanz soll anhand von Modellberechnungen quantifiziert werden. Eine Temperaturerhöhung in einer Tonformation würde auch Umwandlungsreaktionen beschleunigen und damit den chemisch/mineralogischen Stoffbestand des Gesteins verändern. Es soll geprüft werden, ob in den aussichtsreichen Tonformationen in Deutschland Mineralassoziationen vorkommen, die nicht in einem langfristigen Gleichgewichtszustand auftreten können. Diese Daten sollen als Basis dienen, um abzuschätzen, mit welchen Veränderungen man durch den Temperaturimpuls rechnen muss.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Thermische Optimierung einer geotechnischen Barriere durch Zusatzstoffe
- AP2: THM-Gesteinsverhalten im Einlagerungsbereich / Bohrlochstabilität
- AP3: Veränderung organischer Bestandteile
- AP4: Veränderung anorganischer Bestandteile



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2:

Im Untertagelabor in Bure wurde der Erhitzer Versuch „TER“ gestartet. Dieser hat zum Ziel, das thermo-hydro-mechanische Verhalten des Callovo-Oxfordian Tonsteins bei einer maximalen Temperaturbelastung von 100° C zu untersuchen. DBE TECHNOLOGY beteiligt sich an diesem Versuch durch Labormessungen an Bohrkernmaterial sowie einer versuchsbegleitenden numerischen Modellierung zur Analyse des Gesteinsverhaltens.

Im Rahmen der Modellierung wurde zunächst die Auffahrungsgeschichte der Strecken im Umfeld des Versuches sowie die Auffahrung der Erhitzerbohrung simuliert. Die Berechnungen dienten dazu, den Spannungszustand sowie die Porenwasserdruckverteilung vor dem Start der Erhitzung zu bestimmen, um die korrekten Anfangsbedingungen für den Versuch zu erhalten. Die Berechnungen wurden mit dem Programm FLAC3D durchgeführt. Die Simulation der Auffahrungsgeschichte der Strecken führte zu einer Inversion des Spannungsfeldes, das gut zu den beobachteten Bohrlochrandausbrüchen passt und ein insgesamt konsistentes Bild ergibt. Eine Verifizierung der gemessenen Porewasserdrücke im Zuge der Erstellung der Erhitzerbohrung konnte bislang noch nicht erreicht werden.

AP4:

Für ein Zielgebiet in der Unterkreide des Niedersächsischen Beckens wurden Einflüsse der Temperaturerhöhung behandelt. Die Unterkreideschichten im Niedersächsischen Becken beginnen ab einer Tiefe von weniger als 300 m. Als geeigneter Einlagerungshorizont wurde das mittlere Apt (Hedbergellia-Schichten) identifiziert und die Untersuchungen entsprechend darauf fokussiert.

Erarbeitet wurden erste quantitative Aussagen zu Veränderungen dieser Formation bei Temperaturen zwischen 40 und 90° C hinsichtlich Mineralogie, Geochemie und chemischem Isolationspotential (Retentionseigenschaften). Dabei wurde der gegenwärtige Stand der relevanten Literatur ausgewertet. Es erfolgte eine Beschreibung des gegenwärtigen Zustands des mittleren Apt, eine Zusammenstellung temperaturabhängiger Eigenschaften solcher Tonsteine sowie eine Auswertung von Informationen aus natürlichen (diagenetischen) Prozessen und experimentellen Befunden zur Illitisierung von Smectiten. Die gewonnenen Informationen wurden auf das mittlere Apt übertragen, mit dem Ziel, die Reaktionskinetik vorherzusagen und eine Voraussage für die Veränderung des Isolationspotentials hinsichtlich des Rückhaltevermögens von Schadstoffen bei erhöhter Gebirgstemperatur zu machen. Ergänzend wurden noch die Auswirkungen lokaler Pyrit-Oxidation behandelt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Beginn der Laboruntersuchungen zu Bentonit-Graphit-Mischungen

AP2: Versuchsbegleitende Modellierung der Erhitzerphasen im TER-Versuch in Bure zur Charakterisierung des thermo-hydro-mechanischen Verhaltens

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10096</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2006 bis 30.04.2009		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 447.400,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Geckeis

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Hauptziel des Vorhabens ist es, ein verbessertes Verständnis der Radionuklid-Kolloid und der Kolloid-Gesteinsoberflächen Wechselwirkungen und der zugrunde liegenden Mechanismen unter naturnahen Bedingungen am Beispiel geklüfteter Granitsysteme zu erreichen. Auf dieser Basis soll die Relevanz des kolloidgetragenen Radionuklidtransports hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines Endlagers in einer Hartgesteinsformation bewertet werden. Darüber hinaus werden generische Aussagen zur Kolloidrelevanz erarbeitet. Der Beitrag des INE, auf den sich der vorliegende Bericht bezieht, konzentriert sich auf experimentelle Arbeiten im Labor und in Untertagelabors sowie die begleitende Erstellung hydraulischer Modelle. Die Arbeiten der GRS fokussieren sich auf die Anwendung, Weiterentwicklung und Qualifizierung von Rechenprogrammen für die Langzeitsicherheitsanalyse. In dem vorliegenden Bericht werden die Arbeiten des INE beschrieben.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelle Arbeiten (INE)
- AP1.1: Laborprogramm zu Mechanismen der Kolloid-RN-Kluftmineral-Wechselwirkung
- AP1.2: In-situ-Experimente zur kolloidgetragenen RN-Migration
- AP2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS/INE)
- AP2.1: Parametrisierung von TRAPIC (GRS)
- AP2.2: Vorausberechnung für das CFM Experiment (GRS)
- AP2.3: Bewertung des kolloidgetragenen RN Transports (GRS)
- AP2.4: Modellrechnungen zum Standort Äspö (GRS)
- AP2.5: Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen (INE)
- AP3: Integration und Abschlussdokumentation (Executive Summary) (GRS/INE)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**AP1:** Im Berichtszeitraum wurden Experimente zur Stabilität von Tonkolloiden und zur Wechselwirkung von Modellkolloiden mit Gesteinsoberflächen durchgeführt. Beide Prozesse spielen eine wesentliche Rolle für die Bewertung der Kolloidmobilität in einer gegebenen geochemischen Umgebung.

#### Thema: Bentonitkolloidstabilität in Grundwasser

Die Koagulationskinetik von Tonkolloiden, hergestellt aus einem natürlichen Ton (FEBEX, Spanien) durch Homoionisierung und dreimaliger Dispergierung/Zentrifugation, wurde in Abhängigkeit von pH, Ionenstärke

und für unterschiedliche Elektrolyte untersucht. Die Messungen erfolgten mittels der Photonenkorrelationspektrometrie (PCS). Für einen weiten Parameterbereich wurde jeweils das Stabilitätsverhältnis  $W$  bestimmt. Agglomerationsraten sind größer in  $MgCl_2$  und  $CaCl_2$  als in  $NaCl$  Lösungen und folgen der Schulze-Hardy Regel. Die Kolloidstabilität steigt generell mit steigendem pH. Bei pH-Werten  $> 8$  werden in  $MgCl_2$  und  $CaCl_2$  Lösungen Fällung und Mitfällungsprozesse bedingt durch Überschreiten der Löslichkeitsgrenzen von  $CaCO_3$  und  $MgCO_3$  beobachtet. Aus den experimentellen Ergebnissen können Kolloidstabilitätsfelder definiert werden, die eine Vorhersage des Kolloidverhaltens in natürlichen Grundwässern ermöglichen.

#### Thema: Kolloidwechselwirkung mit Mineraloberflächen

In ersten Experimenten wurde die Sorption von Modellkolloiden (fluoreszenzmarkierte carboxylierte Polystyrolnanopartikel) an Oberflächen von Gesteinsproben untersucht. Die natürlichen Gesteinsproben stammen aus einer wasserführenden Kluft des Grimsel-Felslabors. Die Ionenstärke wurde in allen Experimenten bei  $10^{-2}$  mol/L  $NaCl$  festgehalten, während der pH der Kolloiddispersionen unter aeroben Bedingungen zwischen 2 und 9,5 variiert wurde. Kolloidsorption an Mineraloberflächen wurde orts aufgelöst mittels Fluoreszenzmikroskopie beobachtet und die gleichen Oberflächen anschließend mineralogisch mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) charakterisiert. Mit abnehmendem pH-Wert steigt das Ausmaß der Kolloidsorption entsprechend der Abnahme der gleichsinnigen negativen Oberflächenladungen an Mineraloberflächen und Kolloiden. Bei hohen pH Werten, wo Ladungsrepulsion Kolloidsorption weitgehend verhindern sollte, findet man Kolloidrückhaltung insbesondere in Bereichen hoher Oberflächenrauigkeit. Bei pH Werten  $< 6$  findet man in REM Analysen Kolloide vorwiegend an Mineralphasen wie Apatit, Titanit und Illit gebunden; bei pH 2 wurde die Sorption von Kolloiden auch an Feldspäten beobachtet.

**AP2.5:** Die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten zu AP2.5 - Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen - betrafen im Wesentlichen die folgenden zwei Themen:

- Erstellung eines 2D-Modells in dem Scherzonenbereich in der Umgebung des geplanten CFM-Versuchs zur Untersuchung der komplexen Grundwasserströmung und die Durchführung einer Parameterstudie hinsichtlich der Auswirkungen von hydraulischen Kennwerten und den Randbedingungen (z. B. der Tunnelverschluss) auf das Strömungsfeld.
- Nachrechnung eines in situ durchgeführten Tracerexperiments und Bestimmung der Transporteigenschaften der Scherzone am Versuchsort.

**AP3:** Die Zusammenführung experimenteller und Modellierungs-Arbeiten wurden mit der GRS im Rahmen eines CFM-Projekttreffens in Brienz, Schweiz am 29./30.11.06 besprochen und abgestimmt. Des Weiteren erfolgte die Diskussion und Abstimmung der experimentellen Arbeiten im Rahmen des internationalen CFM-Projekts bei einem Projekttreffen in Tokyo, Japan (11.-14.12.2006).

#### **4. Geplante Weiterarbeiten**

**AP1:** Die begonnenen Laborexperimente zur Kolloidstabilität und zur Kolloid-Mineraloberflächenwechselwirkung werden fortgesetzt. Insbesondere wird der Einfluss von natürlichen organischen Kolloiden auf die Kolloidstabilität untersucht. Die Kolloidgeneration aus kompaktiertem Ton wird untersucht mit Hilfe einer im INE aufgebauten Apparatur. Zudem werden erste Experimente zur Kolloidgetragenen Actinidenmigration in einer natürlichen Kluft in einem Bohrkern (Grimsel, Schweiz) durchgeführt. Methoden zur Quantifizierung der Kolloidwechselwirkung mit der Mineraloberfläche werden weiterentwickelt. Es werden Experimente mit neue fluoreszenzmarkierten Kolloiden durchgeführt, die höhere Fluoreszenzausbeuten und geringere Ausbleichung bei Bestrahlung mit UV-Licht aufweisen. Erste Experimente werden mit der ‚Colloid-probe‘ Technik mittels Kraftmikroskopie durchgeführt.

**AP2.5:** Im ersten Halbjahr 2007 sollen weitere Modellrechnungen mit dem Programm ADINA-F zur Beschreibung der heterogenen Grundwasserströmung in Umfeld des geplanten CFM- Versuchs durchgeführt werden. Außerdem sollen am Beispiel eines Dipolexperiments die Rechencodes ADINA-F und D<sup>3</sup>f direkt verglichen werden.

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

Seher, H., Schäfer, T., Geckeis, H., Fanghänel, T., FEBEX bentonite colloid stability in groundwater, 2nd Annual Workshop Proceedings 6th EC FP-FUNMIG IP, Stockholm 21-23 November 2006

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10106</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2006 bis 30.04.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 271.750,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Noseck	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelle Arbeiten (INE)
- AP1.1: Laborprogramm zu Mechanismen der Kolloid-RN-Kluftmineral-Wechselwirkung
- AP1.2: In-situ-Experimente zur kolloidgetragenen RN-Migration
- AP2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS/INE)
- AP2.1: Parametrisierung von TRAPIC (GRS)
- AP2.2: Vorausberechnung für das CFM Experiment (GRS)

- AP2.3: Bewertung des kolloidgetragenen RN Transports (GRS)  
 AP2.4: Modellrechnungen zum Standort Äspö (GRS)  
 AP2.5: Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen (INE)  
 AP3: Integration und Abschlussdokumentation (Executive Summary) (GRS/INE)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Aus Batch-Experimenten wurden Kd-Werte für die Sorption von Pu an Bentonit-Kolloiden und an Grimsel Kluftfüll-Sedimenten, sowie Desorptionsraten von Bentonit-Kolloiden mit Bandbreiten für Plutonium an. Damit wurde der kolloidgetragene Transport im Grimsel-Experiment #32 nachvollzogen. Unter Verwendung dieser Daten wurden Vorausberechnungen für eine vergleichbare, aber längere Kluft unter Variation der Transportgeschwindigkeiten durchgeführt. Diese Rechnungen sollen zur Auslegung der im CFM-Projekt geplanten Experimente beitragen.

Für die Adsorption von Uran und Neptunium an Kluftfüll-Sedimenten von Grimsel wurden Kd-Werte und Adsorptionsraten abgeleitet. Ein Vergleich mit Uran-Durchbruchkurven zeigt, dass die Adsorptionswerte für Uran nicht direkt auf die Säulenexperimente übertragbar sind.

Erste Rechnungen wurden mit d<sup>3</sup>f zu einem einfachen 2D-Strömungsfeld (Dipol) entsprechend dem CRR-Experiment durchgeführt.

AP3: Auf einem Modellierertreffen mit Teilnehmern von INE und GRS wurden die weitere Vorgehensweise und Rechenfälle zum Vergleich der Programme d<sup>3</sup>f und ADINA festgelegt.

Teilnahme am 2. CFM (Colloid Formation and Migration) Modelling Group Meeting in Brienz mit Vorstellung der Ergebnisse zur Simulation des kolloidgetragenen Transports von Am und Pu.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP2: Simulation des Transports von Uran und Cäsium in Säulenexperimenten mit variablen Transportzeiten. Weiterführung der Modellrechnungen zum kolloidgetragenen Radionuklidtransport von Plutonium: Simulation von Säulenexperimenten, die vom INE durchgeführt werden und Erarbeitung von Modellansätzen zur Berücksichtigung der Wechselwirkungen von Kolloiden mit der Sedimentmatrix (gemeinsam mit INE).

Diskussion der Experimente zum Radionuklidtransport im Untertagelabor Äspö und Auswahl der für die Modellrechnungen zu betrachtenden Radionuklide. Durchführung erster Simulationsrechnungen mit CHETMAD.

Es wurde entschieden, das Rechenprogramm r<sup>3</sup>t um die Ansätze des kolloidgetragenen Schadstofftransports mit kinetisch gesteuerter Sorption zu erweitern. Damit können dann komplexe Strömungsfelder und Anisotropieeffekte der Permeabilität mit dem Strömungsprogramm d<sup>3</sup>f berechnet und Auswirkungen auf den kolloidgetragenen Transport in r<sup>3</sup>t berücksichtigt werden.

AP3: Das nächste Projekttreffen GRS/INE soll im Februar stattfinden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10116</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Barriereintegrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs in Tonformationen (BET)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 30.06.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 709.575,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Miehe	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Vorhaben BET soll der grundsätzliche Mechanismus der Gasausbreitung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich eines ungestörten konsolidierten Tonsteins geklärt und die infolge höherer Gasdrücke zu erwartenden signifikanten Änderungen der hydraulischen Eigenschaften (Gaseintrittsdruck, effektive Permeabilität) quantifiziert werden. Im Hinblick auf die Ableitung relevanter Prozessmodelle soll der Frage nachgegangen werden, ob der Gaseintritt ins Gebirge vorrangig dilatanzgesteuert, d. h. durch Aufweitung des vorhandenen Porensystems mit einhergehender Erhöhung der Permeabilität oder durch die Bildung neuer diskreter Risse infolge des Überschreitens der minimalen Hauptspannung (Frac) stattfindet. Für die Belange der Langzeitsicherheit des Endlagers soll darüber hinaus geklärt werden, ob und mit welchem zeitlichen Verlauf es zu einer Rückbildung bzw. Verheilung der gebildeten Fließwege kommt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: In-situ-Untersuchungen: In Bohrungen wird eine gasdruckinduzierte Schädigung des Gebirges mit Bestimmung der Gasinfiltrationsrate nach Gaseintritt durch Gasdruckaufbau erzeugt. Anschließend erfolgen Untersuchungen zum Verheilungsverhalten des geschädigten Gebirges durch zeitlich gestaffelte Wiederholung der Gas-Fracdruckmessungen.
- AP2: Laboruntersuchungen: Erzeugung einer gasdruckinduzierten Schädigung bei unterschiedlichen mechanischen Belastungen und Gasinjektionsraten sowie Untersuchungen, wie sich Wegsamkeiten bilden und verhalten (dilatanzbedingte Aufweitung von Fließwegen und vorhandener Risse oder Bildung neuer Risse). Untersuchung des Verheilungsverhaltens der geschädigten Proben unter den in Mt. Terri herrschenden In-situ-Bedingungen bezüglich der Gebirgsspannung, der Zeit sowie des Einflusses von Tonwasser und Überprüfung der Übertragbarkeit der an kleinen Proben ermittelten Laborergebnisse auf Proben größeren Maßstabs.
- AP3: Abschließende Bewertung der In-situ- und Laborergebnisse und Bereitstellung eines Schädigungsmodells.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**AP1:** Innerhalb des Arbeitspakets 1 wurden die vorgesehenen In-situ-Untersuchungen mit der Nagra abgestimmt und die Untersuchungsbohrungen erstellt und instrumentiert. Die Bohrungen wurden drucklos mit Pearsonwasser gefüllt und eingeschlossen, so dass sich die durch das Erstellen der Bohrungen beeinflussten in situ vorherrschenden Sättigungsbedingungen und anstehenden Porenraumdrücke wieder einstellen können, ehe die Injektionstests gestartet werden. Es wird erwartet, dass die Injektionstests im Februar/März 2007 beginnen können.

**AP2:** Im Rahmen der geplanten Laborversuche wurde festgelegt, in welcher Form die Probenentnahme insbesondere im Hinblick auf die Konditionierung nach dem Erbohren der Kerne vorgenommen werden soll. Für die Probenkonditionierung sind die folgenden Präparationschritte vorgesehen: Unmittelbar nach dem Erbohren werden die Proben auf eine Länge von ca. 250 mm zugeschnitten, in eng anliegende aluminiumbeschichtete Folien eingeschweißt und in ein längs aufgeschlitztes Kunststoffrohr passenden Durchmessers eingesetzt. Um die Proben vor radialer Entlastung zu schützen werden die Kunststoffrohre mit jeweils 3 - 4 Metallschellen gespannt. Einer axialen Entlastung wird durch an die Stirnflächen der Proben angebrachte vorgespannte Platten entgegengewirkt. Zur Verhinderung eines Austrocknens, werden die Proben vor der axialen Einspannung zusätzlich im Randbereiche mit Silikonmasse verspritzt. Nach der Präparation im Labor werden die Proben in den Prüfanlagen zusätzlich unter den relevanten Gebirgsspannungsbedingungen konsolidiert.

**AP3:** In AP3 waren in 2006 keine Arbeiten vorgesehen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP1:**

- Untersuchungen zum Gasfluss
- Erhöhung des Gasdrucks bis zum Frac

**AP2:**

- Entnahme der Probekörper und Probenpräparation
- Untersuchung des Gasflusses bei unterschiedlichen Einspannbedingungen

**AP3:**

- Beginn der Erarbeitung eines Schädigungsmodells

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10126</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZ Karlsruhe		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 30.06.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 298.298,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Marquardt	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es wird eine einheitliche, umfassende und konsistente thermodynamische Referenzdatenbasis für ausgewählte Radionuklide für eine Temperatur von 25°C entwickelt, die zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozesse eines Endlagers für radioaktiven Abfall eingesetzt werden soll. Es werden bereits bestehende, qualitativ hochwertige Datenbasen für Radionuklide zusammengeführt, auf Konsistenz geprüft, validiert und die Behandlung und Bewertung sorgfältig dokumentiert. Parallel dazu wird eine Datenbank entwickelt, in der die Daten integriert werden. Dieses Projekt läuft in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), dem Institut für Radiochemie des Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD), der TU Bergakademie Freiberg und der Colenco Power Engineering.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Projektmanagement: Koordination zur Datenerhebung der Radionuklid-Datenbasis im Verbundvorhaben. Erstellung von Berichten und Vorbereitung von Workshops, Vorstellung von Ergebnissen auf Konferenzen.
- AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation: Erstellung von Qualitätsrichtlinien, Archivierung von Quellenangaben und Rechnungen zur Validierung von Daten. Ziel der Validierung von Daten ist es zu prüfen, inwieweit verifizierte Rechencodes wie EQ3/6 mit Hilfe der erstellten Parameterdateien in der Lage sind, die Gleichgewichte in komplexen Lösungssystemen vorauszusagen.
- AP3: Datenbasis für Radionuklide: Erfassung und Bearbeitung der thermodynamischen Daten für die Radionuklide Tc, Th, Np, Pu, Am und Cm für die Temperatur von 25 °C. Es werden Festphasen als auch in wässriger Phase gelöste Spezies erfasst. Einzugebende Daten sind Bildungs- und Reaktionsdaten relevanter Spezies (z. B.  $\log K^\circ$ ,  $\Delta_f G_m^\circ$ ,  $\Delta_r G_m^\circ$ ), die dazugehörigen Reaktionen, Wechselwirkungsparameter für das Pitzer- bzw. SIT-Modell, Qualitätsstufen, Quellenangaben und Kommentare. Die Daten werden eingehend nach den aufgestellten Qualitätsrichtlinien begutachtet, wobei Empfehlungen anderer international anerkannter Gremien, wie z. B. NEA, einfließen.



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In einem ersten Schritt wurden thermodynamische Daten für die Actiniden Thorium, Neptunium, Plutonium, Americium / Curium und dem Radionuklid Technetium aus dem NEA-Datenbestand (NEA-TDB) und aus INE-internen Datensammlungen zusammengestellt. Es wurden Bildungsdaten als auch Reaktionsdaten für aquatische Spezies und Festphasen berücksichtigt. Die Daten wurden in einer Excel-Tabelle zusammengestellt, um flexibel in der Gestaltung des Formats für einen späteren Import in die THEREDA-Datenbank zu sein. Eingetragen wurden, soweit vorhanden, folgende Daten: die molare Freie Standardbildungsenthalpie ( $\Delta_f G_m^0$ ), molare Standardentropie ( $S_m^0$ ), molare Standardwärmekapazität ( $C_{p,m}^0$ ), Gleichgewichtskonstanten ( $\log K$ ), molare Freie Standardreaktionsenthalpie ( $\Delta_r G_m^0$ ), Molare Standardreaktionsenthalpie ( $\Delta_r H_m^0$ ) Standardreaktionsentropie ( $\Delta_r S_m^0$ ) und die dazugehörigen Reaktionen.

Weiterhin wurde angefangen SIT- und Pitzer-Parameter zusammenzustellen. Während SIT-Parameter weitgehend vorhanden sind, sind die Pitzer-Parameter nur sehr lückenhaft existent. Fehlende SIT-Parameter lassen sich relativ leicht abschätzen, was für Pitzer-Parameter nicht gilt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten halben Jahr werden die eingegebenen Daten in ein einheitliches Listenformat gebracht und nach den THEREDA-Qualitätsrichtlinien überprüft, mit Qualitätsmerkmalen, Kommentaren und mit ausführlichen Quellenangaben versehen. Dafür werden mit den Projektpartnern Daten-Listen für die THEREDA-Datenbank definiert und die Richtlinien für Qualitätsmerkmale festgesetzt. Die existierenden Daten werden mit speziellen Kennzeichnungen versehen, wie z. B. die Unterscheidung in einen konsistenten SIT-Datensatz und einen konsistenten Pitzer-Datensatz ( $\log K^\circ(\text{SIT})$  bzw.  $\log K^\circ(\text{Pitzer})$ ).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10136</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZR		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 30.06.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 91.185,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Brendler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt THEREDA (Partner: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe) entwickelt eine umfassende thermodynamische Datenbasis zur geochemischen Modellierung der Schadstofffreisetzung aus Endlagerprojekten. Hierzu bilden die beteiligten Projektpartner einen Kreis von Experten, der vorhandene thermodynamische Stoffgrößen sammelt, nach einheitlich vorher festgesetzten Kriterien bewertet und in einer Datenbank zusammenfasst. Besonderer Wert wird auf eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit von Datenbankeinträgen gelegt. Es ist vorgesehen, den bereits in anderen Datenbasen vorhandenen Datenbestand zu integrieren. Die Datenbank hilft bei der Identifikation von Wissenslücken und beim Entwurf von Strategien zu deren Schließung.

Im weiteren Verlauf des Vorhabens werden Werkzeuge zur Verfügung gestellt, um automatisiert anwendungsspezifische Parameterdateien aus der Datenbank zu generieren. Die Parameterdateien werden über das Internet der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Damit wird auch eine nützliche Informations-Rückkopplung an die Bereitsteller der Datenbank ermöglicht.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Projektmanagement  
(Berichtswesen, Treffen mit Projektpartnern, Intranet)
- AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation  
(Testrechnungen mit vom DB-Generator entwickelten Parameterdateien, Konsistenzprüfungen, Anwenderhandbuch)
- AP3: Datenbasis für die Radionuklide  
(FZD: Uran und Radium)

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

#### AP1: Projektmanagement

- Projektstarttreffen in Karlsruhe
- Aufsetzen einer Intranet-Seite zur internen Dokumentation, Kommunikation, Archivierung

#### AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation

- Gliederung und erster Entwurf für das Anwenderhandbuch in enger Zusammenarbeit mit Colenco Power Engineering AG (Baden/CH)

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

#### AP1:

- Pflege und Erweiterung der Intranetseite

#### AP2:

- Erstellung erster Kapitel zum Handbuch (Richtlinien, Anwendungsbereiche, Datenstruktur)

#### AP3:

- Zusammenstellung der Daten zu Festphasen und Komplexchemie des Urans, in Abstimmung mit INE-FZK, Beginn der Recherche zum Radium

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10146</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 30.06.2009		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 77.452,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Meyer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel dieses Teilvorhabens ist es eine einheitliche, konsistente und qualitätsgesicherte thermodynamische Referenzdatenbasis für die Matrixelemente Aluminium und Silizium zu schaffen, die zusammen mit den Referenzdatenbasen der anderen Teilprojekten eine umfassende thermodynamische Gesamtdatenbasis bildet. Diese soll zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozessen für die derzeit in Deutschland diskutierten Wirtsformationen für ein Endlager radioaktiven Abfalls verbindlich verwendet werden.

Die Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) wird innerhalb dieses Teilprojektes die thermodynamischen Daten die Matrixelemente Aluminium und Silizium aus der Literatur zusammenstellen. Diese werden nach einheitlich vorher festgesetzten Kriterien bewertet und in einer Datenbank zusammenfasst.

Einen besonderen Schwerpunkt wird auf die Parameter, die zur Modellierung in salinaren Milieu benötigt werden, gelegt. Es handelt sich dabei um Ion-Ion-Wechselwirkungsparameter (Pitzer-Parameter). Für diese Pitzer-Parameter existiert bisher noch keine allgemein zugängliche, umfassende, abgesicherte und konsistente Datenbasis.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Entwicklung, Ergänzung und Dokumentation konsistenter thermodynamischer Datenbasen für Aluminium bei 25° C
- Entwicklung, Ergänzung und Dokumentation konsistenter thermodynamischer Datenbasen für Silizium bei 25° C
- Projektkoordination

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

Im Berichtszeitraum wurden wichtige organisatorische. Auf einem Workshop in Freiberg (Juli, 2006) und später bei der Eurosafe-Tagung in Paris (November, 2006) wurde das Konzept des Vorhabens THEREDA einem internationalen Publikum vorgestellt und diskutiert. Im Oktober 2006 erfolgte eine Erörterung des aktuellen Standes der Vorbereitungen im Rahmen des vom Projektträger Karlsruhe ausgerichteten „Fachgespräches zur Radionuklidmigration“.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im kommenden Projektzeitraum beschränken sich die Aktivitäten der GRS auf die Organisation von Projektmeetings und Mitarbeit bei der Erstellung von Qualitätsdokumenten.

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

H.-J. Herbert, S. Hagemann, V. Brendler, C. Marquardt, W. Voigt ,S. Wilhelm (2006) German activities towards a thermodynamic reference data base. Eurosafe 2006, Paris 13.-14.11.2006.

S. Hagemann (2006) THEREDA – the German Database Concept for Performance Assessment Studies in Waste Disposal. 12th International Symposium on Solubility Phenomena and Related Equilibrium Processes. Workshop „Quality Assurance in Thermodynamic Databases for Performance Assessment Studies in Waste Disposal“ 26.07.2006.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10156</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 517.504,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Bernhard	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens sind Beiträge für zuverlässige Prognosen zur Ausbreitung von Actiniden in Tongesteinen in Gegenwart von Huminstoffen (HS) und Tonorganika. Es sollen die Wechselwirkungen zwischen Actiniden (U, Am), HS und einem natürlichen Tongestein untersucht werden. Die Arbeiten gliedern sich in Komplexbildungsuntersuchungen sowie Batch- und Diffusionsexperimente im System Actinid-(HS)-Tongestein-Wasser. Die Datenbasis zur U(IV)/U(VI)-HS-Komplexierung soll vervollständigt werden. Erkenntnisse zum Einfluss N- und S-haltiger HS-Funktionalitäten auf die Metallionen-Komplexierung sind zu erwarten, die der abschließenden Einschätzung der Rolle verschiedener HS-Funktionalitäten bei der Metallionen-Komplexierung dienen. Quantitative Daten zur Sorption/Migration sowie qualitative Daten zu gebildeten Oberflächenkomplexen und Transport bestimmenden Prozessen werden generiert. Das Forschungsvorhaben erfolgt in Kooperation mit den Förderprojekten der Universitäten Mainz, Saarbrücken, München, Potsdam, Heidelberg, des Instituts für Interdisziplinäre Isotopenforschung Leipzig und des Instituts für Nukleare Entsorgung Karlsruhe.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Synthese stickstoff- und schwefelhaltiger Huminsäure-Modellverbindungen und spektroskopische Charakterisierung der Heteroatom-Funktionalitäten
2. Untersuchung des Einflusses stickstoff- und schwefelhaltiger Funktionalitäten auf die U(VI)- und Am(III)-Komplexierung mit Huminsäuren und organischen Modellliganden
3. Bestimmung der Konzentrations- und Temperaturabhängigkeit der Komplexbildungs-konstante für die U(VI)-Huminsäure-Komplexierung
4. Untersuchung der Bildung ternärer U(VI)-Carbonato-Humat-Komplexe
5. Untersuchung der U(IV)-Komplexierung durch Humin- und Fulvinsäuren
6. Identifizierung der für die Komplexierung von Actiniden in verschiedenen Oxidationszuständen relevanten funktionellen Gruppen der Huminstoffe
7. Quantifizierung und Charakterisierung der von Tonen freigesetzten anorganischen und organischen Kolloide
8. Untersuchungen zur U(VI)-Sorption an Opalinus-Ton und zum Einfluss von Huminstoffen auf die U(VI)-Sorption
9. Diffusionsexperimente zum U(VI)-Transport in Opalinus-Ton

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Aufbauend auf den Arbeiten zur U(VI)-Sorption am Kaolinit (Projekt 02 E 9673) wurden Untersuchungen zum Einfluss von Huminsäure auf die Am(III)-Sorption am Kaolinit unter vergleichbaren experimentellen Bedingungen (Am:  $1 \cdot 10^{-6}$  M, I: 0.01 M NaClO<sub>4</sub>, pH 3-10, S/L: 4 g/l, HS M42: 10 mg/l) durchgeführt (Opalinus-Ton war noch nicht verfügbar). Unter den experimentellen Bedingungen zeigt Am(III) eine starke, nahezu vom pH-Wert unabhängige Sorption am Kaolinit. Ähnlich zur U(VI)-Sorption bewirkt die Gegenwart von Huminsäure zwischen pH 3 und 5 eine leichte Erhöhung der Am-Sorption, wohingegen zwischen pH 5 und 8 eine leichte Verringerung der Sorption zu beobachten ist.
- Zur Optimierung eines bestehenden lasergestützten Fluoreszenzmesssystems wurde aus den beantragten Projektmitteln ein ICCD-Kamerasystem mit Bildverstärker und Spektrograph beschafft. Ziel ist es, mit dem neuen System eine verbesserte Auflösung sowie eine niedrigere Nachweisgrenze für U(VI) zu erzielen.
- Die Charakterisierung der vom INE zur Verfügung gestellten homogenisierten aeroben Opalinus-Ton-Probe wurde begonnen.
- Vom 7.-8.11.2006 wurde der erste Projekt-Workshop der neuen Förderperiode in Dresden durchgeführt. Das Treffen diente vor allem der gemeinsamen Abstimmung der Arbeiten des Projektverbands.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Charakterisierung der Opalinus-Ton-Probe (FTIR, XRD, XRF, BET, TOC, Kationenaustauschkapazität) und Bereitstellung der Ergebnisse für die Projektpartner
- Aufbau und Test des neuen Kamerasystems; Bestimmung der Nachweisgrenze für U(VI)
- Orientierende Synthesen zur Präparation schwefelhaltiger Huminsäure-Modellverbindungen
- fs-TRLFS- und TRLFS-Untersuchung der U(VI)-Komplexierung mit Benzolsulfonsäure und Hydroxobenzolsulfonsäure als Modellliganden für Huminsäuren
- Beginn der laserspektroskopischen Untersuchungen zur Konzentrationsabhängigkeit der U(VI)-Huminsäure-Komplexierung
- Orientierende Arbeiten zur Untersuchung der U(IV)-Komplexierung durch Humin- und Fulvinsäuren
- Untersuchungen zur U(VI)-Sorption an Opalinus-Ton unter aeroben Bedingungen (Aufnahme von Adsorptionsisothermen; Einsatz synthetischen Porenwassers; Untersuchung der Sorptionskinetik)

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Berichte und Veröffentlichungen zu Ergebnissen aus Vorgängerprojekten:

Křepelová, A., Sachs, S., Bernhard, G.: Uranium(VI) Sorption onto Kaolinite in the Presence and Absence of Humic Acid. *Radiochim. Acta* **94**, 825-833 (2006).

Sachs, S., Křepelová, A., Schmeide, K., Koban, A., Günther, A., Mibus, J., Brendler, V., Geipel, G., Bernhard, G.: Joint Project: Migration of Actinides in the System Clay, Humic Substance, Aquifer – Migration Behavior of Actinides (Uranium, Neptunium) in Clays: Characterization and Quantification of the Influence of Humic Substances. Final Report, BMWi Project No.: 02 E 9673, Dresden, Germany, December 2006.

Mibus, J., Sachs, S., Pflingsten, W., Nebelung, C., Bernhard, G.: Migration of Uranium(IV)/(VI) in the Presence of Humic Acids in Quartz Sand: A Laboratory Column Study. *J. Contam. Hydrol.* **89**, 199-217 (2007). (DOI 10.1016/j.jconhyd.2006.08.005).

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55099 Mainz		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10166</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit natürlichem Tongestein		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 562.450,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Reich	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Sorption von Np und Pu an natürlichem Tongestein wird unter umweltrelevanten Bedingungen untersucht, sowie der Einfluss von Huminstoffen auf die Sorption in Batch- und Diffusionsexperimenten studiert. Um die Wechselwirkungsprozesse auf molekularer Ebene zu verstehen, werden die dominierenden Sorptionsspezies mit Hilfe spektroskopischer Methoden (XPS, XANES und EXAFS) bestimmt. Wichtige Fragestellungen sind die Reversibilität und Kinetik der Sorption sowie die Rolle von Huminstoffen und eventuell auch von Tonorganika. Diese Untersuchungen sollen die thermodynamische Datenbasis für Actiniden erweitern, sowie Informationen zur Ableitung von Bewertungskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Ton als Wirtsgestein, insbesondere über das Rückhaltevermögen von Tongestein gegenüber Radionukliden, liefern. Im Rahmen des Verbundprojekts wird schwerpunktmäßig mit dem Institut für Radiochemie des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf, dem Institut für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe und der Universität des Saarlandes zusammengearbeitet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Batchexperimente mit Np/Pu-Tongestein und Einfluss von Huminstoffen; Speziationsuntersuchungen in den Systemen Np/Pu-Tongestein mit XANES und EXAFS und in dem System Tongestein-Huminstoff mit XPS; Diffusionsexperimente mit Np(V) in natürlichem Tongestein und Einfluss von Huminstoffen; analytisch apparative Entwicklung, u. a. Kopplung CE-ICP-MS, CE-DAD und CE-RIMS.



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Oktober 2006 wurde das aus Projektmitteln angeschaffte ICP-MS-Gerät Agilent 7500ce geliefert und in Betrieb genommen. Darüber hinaus wurde für die Untersuchung der Komplexbildung von Metallionen mit Huminstoffen die Kopplung CE-DAD-ICP-MS weiter optimiert. Die ersten erfolgreichen Experimente, in denen die komplexierten von der freien Metallspezies getrennt und mittels DAD und ICP-MS detektiert werden konnten, wurden mit Aldrich-Huminsäure und verschiedenen Lanthaniden als Modellelemente für die dreiwertigen Actiniden durchgeführt ( $[\text{Ho(III)}, \text{Lu(III)}] = 50 \text{ ppb} - 10 \text{ ppm}$ ,  $[\text{AHA}] = 250 \text{ ppm}$ , in  $0,1 \text{ M NaClO}_4$  und  $0,01 \text{ M MES}$ , bei  $\text{pH } 4,7$ ). Die CE-Trennungen wurden in  $0,1$  und  $1 \text{ M}$  Essigsäure durchgeführt.

Mit der Charakterisierung des aerob aufgemahlene Opalinus-Tonpulvers ( $< 500 \mu\text{m}$ ), von dem das Institut für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe Anfang Dezember 2006  $500 \text{ g}$  für die Batchexperimente mit Np und Pu zur Verfügung gestellt hatte, ist mit verschiedenen Untersuchungsmethoden begonnen worden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Anwendbarkeit der Kopplung CE-DAD-ICP-MS soll zunächst anhand der Bestimmung von  $\log \beta$  Konstanten des Ho(III), Lu(III) und Pu(III) mit Aldrich-Huminsäure überprüft werden. Die Ergebnisse sollen mit denen aus Ultrafiltrationsexperimenten verglichen werden. Die Kopplung CE-RIMS wird weiter verbessert.

Die Charakterisierung des Opalinus-Tons hinsichtlich XRD, IR, Raman, BET und RFA soll abgeschlossen und die Ergebnisse den Projektpartnern zur Verfügung gestellt werden. Für die Untersuchung der Sorption von Np(V) an dem natürlichen Tongestein sind mehrere Adsorptionsisothermen über einen großen Konzentrationsbereich für verschiedene fest-flüssig Verhältnisse geplant. Weiterhin wird mit Batchexperimenten zum Studium der pH-Abhängigkeit der Sorption von Np(V) und Pu(III) an Opalinus-Ton begonnen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10176</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Beiträge zur Modellierung des Actinidentransports in potentiellen Wirtsgesteinsformationen; Teilthema 1: Mobilitätsbestimmende Elementarprozess; Teilthema 2: Einfluss heterogener Strukturen auf den Lösungs-Kolloidtransport		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 836.371,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Lippold	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zielsetzung des ersten Teilvorhabens besteht in der Bereitstellung von Bewertungsgrundlagen zum Einfluss organischer Kolloide auf die Migration von Actiniden in Tongestein. Dazu wird die Koadsorption an Tonmineralien und an natürlichem, organikhaltigem Ton in Abhängigkeit von geochemischen Parametern untersucht und modelliert. Mit Hilfe von Radiotracermethoden sollen die Voraussetzungen für eine Rekonstruktion ternärer Systeme anhand von Gleichgewichtsdaten binärer Systeme im Einzelnen geprüft werden.

Ziel des zweiten Teilvorhabens ist die tomographische räumliche und zeitliche Erfassung von Konzentrationsverteilungen während des Transports von Lösungen und Kolloiden in Modellprobenkörpern und Bohrkernen aus Ton, Tongestein und Kristallingestein, um realistische Transportparameter und Kalibrierdaten für die Entwicklung verbesserter Prognosemodelle zur Sicherheit nuklearer Endlager zu schaffen.

Das Projekt ist Bestandteil des Verbundvorhabens „Wechselwirkung und Transport von Actiniden im natürlichen Tongestein unter Berücksichtigung von Huminstoffen und Tonorganika“.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1.1: Untersuchung und Modellierung der Wechselwirkungen in ternären und binären Systemen aus radiotoxischen Schwermetallen, Huminstoffen und Tonen bzw. Tonmineralien in Abhängigkeit von pH-Wert und Elektrolytgehalt
- AP1.2: Stabilität gelöster und oberflächengebundener Humatkomplexe; Einfluss höherwertiger Metalle auf das Adsorptionsverhalten von Huminstoffen
- AP1.3: Zeitabhängigkeit des Konkurrenzeffektes von Al(III) bezüglich der Humatkomplexbildung radiotoxischer Schwermetalle
- AP1.4: Reversibilität der Adsorption von Huminstoffen; Adsorptionsverhalten von Metallhumaten an huminstoffgesättigten Oberflächen
- AP2.1: Lokaler Lösungstransport in homogenisierten Tonproben in Abhängigkeit von Dichte, Sättigung und geochemischen Parametern
- AP2.2: Lokaler Lösungstransport in Bohrkernen mit realer Struktur
- AP2.3: Lokaler Kolloidtransport analog zu AP2.1 und 2.2

- AP2.4: Autoradiographische Untersuchung von Adsorbatverteilungen in Relation zum Oberflächenpotential  
 AP2.5: Lokaler Kolloidtransport in Granitspalten  
 AP2.6: Matrixdiffusion in Granit

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Status der Arbeitspakete:

- AP1.1: Gewinnung und Aufarbeitung von aquatischen und Bodenuminstoffen, elementanalytische Charakterisierung  
 AP1.4: Konzentrationsabhängige Untersuchungen zur Adsorption von Huminsäure an Montmorillonit, Illit und Opalinus-Ton beim Gleichgewichts-pH-Wert  
 AP2.1 - 2.6: Installation der 1. Ausbaustufe einer kommerziellen PET-Kamera  
 Beschaffung von Probenmaterial aus realen Gesteinsformationen (Opalinus-Ton, Granit) in Zusammenarbeit mit Verbundpartnern  
 Aufbau und Optimierung einer Spezialpresse zur Herstellung homogener Probenkörper

Ergebnisse:

Huminstoffe wurden aus Wasser- und Bodenproben (Hochmoor „Kleiner Kranichsee“) isoliert und nach IHSS-Richtlinien aufgearbeitet. Mehrere Gramm stehen zur Verfügung. Die elementare Zusammensetzung und der Restgehalt an Haupt- und Spurenmetallen wurden bestimmt.

Adsorptionsisothermen von Huminsäure an allen drei untersuchten Tonmaterialien zeigen einen normalen Sättigungsverlauf (Langmuir-Verhalten). Die Plateaubereiche, in denen Tracer-austausch-Experimente durchgeführt werden sollen, wurden ermittelt.

Angesichts der zu bewältigenden Messaufgaben im Rahmen dieses Projektes und weiterer Vorhaben hat sich herausgestellt, dass die bisher genutzten PET-Systeme nicht mehr ausreichen. Zurzeit wird die erste Ausbaustufe eines kommerziellen „Small Animal PET-Scanners“ (ClearPET) installiert, dessen höhere Effektivität ungleich schnellere und somit eine größere Anzahl von Messungen zulassen wird.

Eine Spezialpresse für die Herstellung homogener Probenkörper, mit welcher das langfristige Zeit-Setzungsverhalten von Tonen berücksichtigt werden kann, wurde angeschafft und an die Untersuchungsaufgaben angepasst.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1.1: pH-abhängige Untersuchungen zur Adsorption und Wechselwirkung von Tb(III) und Huminsäure an Montmorillonit, Illit und Opalinus-Ton in binären und ternären Systemen; Modellierung nach dem Multiverteilungsansatz  
 AP1.2: Untersuchung des Adsorptionsverhaltens von Huminsäure an Tonmaterial in Gegenwart höherwertiger Metalle  
 AP2.1 / 2.2: PET-Untersuchungen zum lokalen Lösungstransport in homogenen Ton-Probenkörpern und Ton-Bohrkernen, zunächst an aerob aufgearbeitetem Material

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10186</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Quantenmechanische Modellierung von Aktinoidenkomplexen: Komplexierung durch Huminstoffe und Sorption an Tonmineralien		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 538.240,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Rösch	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

- Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Aktinoidenspezies durch Huminstoffe.
- Quantenmechanische Modellierung der Sorption von Aktinoidenspezies an Tonmineraloberflächen.
- Weiterentwicklung von Solvatationsmodellen

Bezug zu anderen Vorhaben:

Teilprojekt im Verbund „Actinidenmigration im natürlichen Tongestein“

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst folgende Arbeitspakete:

1. Komplexierung durch Huminstoffe
2. Sorption an Tonmineralien

Im Arbeitspaket (AP) 1 werden computerchemische Untersuchungen zur Komplexierung von Aktinoiden durch Carboxyl- und alternative Funktionalitäten von Huminstoffen anhand von Modellen durchgeführt sowie Solvatationsmodelle entwickelt und angewandt.

AP2 umfasst quantenmechanische Berechnungen periodischer Modelle von Tonmineralien sowie computerchemische Untersuchungen zur Adsorption von Aktinoidenspezies auf Tonmineraloberflächen mit Hilfe dieser Modelle.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1.1: Acetatkomplexe mit Uranyl(VI)-Monohydroxid, Uranyl(VI)-Monohydroxid. AP1.3: Uranyl(VI)-Komplexe mit Pyridin und Methylamin. AP2.1 und 2.2: Festkörper- und Oberflächenstrukturen von Kaolinit.

Als Referenzmodell wurden ternäre Uranyl(VI)-Monohydroxidkomplexe zunächst am Beispiel des Acetats untersucht. Für bidentate Koordination des Uranyls wurden nahezu entartete Isomere für verschiedene Positionen der OH-Gruppe erhalten, während bei monodentater Koordination Strukturen mit nebeneinander liegendem OH- und Acetatliganden unvorteilhaft sind. Für alle Strukturen wurde erwartungsgemäß im Vergleich zu Uranyl eine geringere freie Enthalpie der Komplexierung durch Acetat berechnet. Wie für alle anderen bisher untersuchten Uranylkomplexe wurde der typische Wert von etwa 2.37 Å für den mittleren U-O-Abstand aller Liganden bei fünffacher Koordination des Uranyls erhalten. Überraschenderweise wurde für  $[\text{UO}_2\text{OH}]^+$  eine Reihe von Isomeren ähnlicher Stabilität berechnet; dies werden derzeit im Vergleich mit ebenso unterschiedlichen Resultaten in der Literatur untersucht. Die Untersuchung der Komplexeigenschaften von stickstoffhaltigen Gruppen wurde mit Methylamin und Pyridin begonnen (als Beispiele für Liganden mit Amingruppen bzw. Heterozyklen). Für beide Modellliganden wurde eine Bindung an Uranyl(VI) berechnet, die nur leicht stärker ist als die von Aqualiganden. Methylamin ist dabei etwas stärker gebunden als Pyridin. Während bisherige Ergebnisse nur geringe Energiedifferenzen bei Rotation des solvatisierten Uranyls um die Amingruppe hinweisen, konnte für Pyridin gezeigt werden, dass eine Orientierung der Uranyls parallel zum Pyridinring bevorzugt ist.

Arbeiten zur Sorption an Tonmineralien wurden anhand des Kaolinitis aufgenommen. Die experimentelle Festkörperstruktur kann sehr gut reproduziert werden. Modellierungen der Kaolinitischichtoberfläche zeigen sowohl in ein- wie zweischichtigen Modellen, dass von den Hydroxidgruppen der Oktaederschicht zwei Drittel aufrecht stehen, während im Gegensatz zum Festkörper ein Drittel parallel zur Oberfläche liegt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1.1: Fortführung der Arbeiten zu Uranyl(VI)-Monohydroxidacetat.

AP1.3: Fortführung der Berechnung zu Methylamin und Pyridin, Erweiterung auf Trimethylamin und Dimethylpyridin, und eventuell bereits auf Aminosäuren.

AP2.2: Untersuchung der wasserbedeckten Kaolinitoberfläche, Modellierung geladener Defekte als Vorbereitung zur Simulation der Sorption geladener Aktinoidenspezies.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

S. Krüger, F. Schlosser, S. R. Ray, N. Rösch:

Uranyl Complexation by Carboxylic Acids: A Relativistic Density Functional Model Study for Actinide Complexation by Humic Acids, *Lecture Series on Computer and Computational Sciences* 7, 904-907 (2006).

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität des Saarlandes, Campus Saarbrücken, 66123 Saarbrücken		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10196</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Untersuchungen zur Migration von Lanthaniden und Uran in natürlichen Tonformationen im Übergang von verdünnten Mineral-Suspensionen zu kompakten Tonen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 502.243,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Beck	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In vorhergehenden Projekten wurden zum einen saline, als auch tonhaltige geologische Formationen im Hinblick auf ihre Eignung als Endlagerstätten untersucht.

Ziel des aktuellen Verbundprojektes ist es, das geochemische Verhalten von Actiniden sowie Lanthaniden als deren Vertreter im natürlichen Tongestein auch unter dem Einfluss von Organika (Huminstoffe, Tonorganika) aufzuklären und dabei die notwendigen Daten zu sammeln, um diese nach Auswahl der geeigneten Wirtsformation darauf anwenden zu können.

Aufbauend auf unsere bisherigen Arbeiten werden im ersten Teil des neuen Projektes die Untersuchungen, die bislang nur an dem Modellton Kaolinit durchgeführt wurden, auf natürliche Tongesteine übertragen. Im zweiten Teilabschnitt des Projektes wird mit Hilfe von Säulenversuchen auf Basis einer Miniaturisierung in Analogie zur LC bzw. HPLC das Ausbreitungsverhalten von Lanthaniden (Eu, Gd, Tb) und Radionukliden (U) und verschiedenen Organika in kompaktem Tonstein untersucht.

Von den in diesem Verbund tätigen Institutionen haben wir eine besondere thematische Nähe und Kooperation mit folgenden Einrichtungen: Institut für Nukleare Entsorgung des FZK; Institut für Radiochemie des FZR; Institut für Kernchemie der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz; Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung in Leipzig und dem Institut für Physikalische Chemie der Universität Potsdam.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Auswahl und Charakterisierung eines natürlichen Tongesteins

AP2: Batch-Versuche zur Bestimmung der Einflüsse geochemischer Parameter auf die Sorption von Lanthaniden und Radionukliden (Eu, Gd bzw. Tb und U) in natürlichen Tonformationen inklusive der darin enthaltenen Organika

AP3: Batch-Versuche zur Untersuchung der Einflüsse von organischen Modellstoffen und natürlich vorkommenden tonorganischen Stoffen auf die Metall-Desorption bei natürlichem Tongestein

AP4: Aufbau und Optimierung eines miniaturisierten Säulenversuchs und Vergleich der Ergebnisse des Säulenversuchs mit denen aus Batch- und Diffusions-Versuchen. Be-

stimmung wichtiger Parameter auf das Migrationsverhalten der Metalle im nativen Tongestein

- AP5: Aufklärung der räumlichen Verteilung (Porenstruktur, Kanalbildung) sowie des Ausbreitungsverhaltens der Schwermetalle und Tonorganika unter dem Einfluss von grundwasserrelevanten Parametern durch eine ortsaufgelöste Analytik der Tonsäulen
- AP6: Bereitstellung und Implementierung des erfolgreich getesteten und optimierten Säulenversuchs für alle in Frage kommenden Projektpartner als konkretes Instrumentarium zum Test mit den jeweiligen Radionukliden.

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

Zu Beginn des Projektes wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, benötigte Chemikalien und Verbrauchsmaterialien beschafft, sowie die im Investitionsplan beantragten Geräte nach zahlreichen Besprechungen mit in Frage kommenden Geräteherstellern ausgewählt und das für unsere Untersuchungen am besten geeignete System in Auftrag gegeben.

Als natürliches Referenz-Tonmineral für das Verbundprojekt wurde ein Opalinus-Ton (BHE-241) aus der Schweiz ausgewählt. Die Aufarbeitung, Homogenisierung und Charakterisierung der von der BGR zur Verfügung gestellten Opalinus-Ton-Bohrkerne wurde am INE durchgeführt.

Für unsere Versuche wurden vom INE ca. 500 g homogenisiertes aerobes Tongestein (BHE-241, Abschnitt 3,30-3,56 m, Teilchengröße > 500 µm) zur Verfügung gestellt, das zurzeit im Hinblick auf unsere Versuche hin charakterisiert wird (Bestimmung von Lanthaniden mittels µRFA, Auflösungsversuche unter verschiedenen Bedingungen).

Das synthetische Porenwasser entsprechend der von Van Loon et al. (2003) beschriebenen Zusammensetzung für die Sorptions- und Säulenversuche wurde angesetzt und auf evtl. enthaltene Spurengehalte der interessierenden Metalle (Eu, Gd, Tb, U) mittels ICP-MS untersucht.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Nach Abschluss der Charakterisierung unserer aeroben Tonprobe werden die im AP2 angegebenen Batch-Versuche zur Bestimmung der Einflüsse geochemischer Parameter auf die Sorption von Lanthaniden (Eu, Gd bzw. Tb) in Angriff genommen.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10206</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Einfluss von tonorganischen Substanzen auf die Rückhaltung von Actiniden in der Tonbarriere		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 813.235,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Marquardt	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Untersucht wird das Migrationsverhalten von Actiniden in der natürlichen Tonbarriere. Hierbei sollen die relevanten Prozesse auf molekularer Ebene aufgeklärt und verstanden werden. Neben der eingehenden Charakterisierung von Tonmineralien und der darin enthaltenen Tonorganika werden deren Wechselwirkungen mit Actinidionen untersucht. Notwendige Grundlagenuntersuchungen werden parallel durchgeführt, hinsichtlich Komplexierung der Actiniden mit Tonorganika und Huminstoffen. Das natürliche tonorganische System wird aus reinen Komponenten nachgebaut um ihre Entstehung, ihre Eigenschaften sowie ihren Einfluss auf die Actinidenmigration nachvollziehen zu können. Zusammenarbeiten laufen mit dem Forschungszentrum Dresden, der Universität Mainz, Potsdam, Heidelberg, Universität des Saarlandes, IIF Leipzig sowie der TU München. Außerdem werden Zuarbeiten von der TU Graz, Inst. für Analytische Chemie und Radiochemie geleistet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Charakterisierung relevanter Tongesteinsproben. Hierzu gehören die Aufklärung der räumlichen Verteilung chemisch/mineralogischer Phasen sowie die über geologische Zeiträume entstandene Verteilung natürlicher Actiniden und deren Analoga. Hieraus ergeben sich Erkenntnisse über die vernetzte Porosität des Tongesteins und potentieller Transportwege.
- AP2: Diffusionsuntersuchungen von Actiniden und Analoga. Als stationäre Phase werden Tongestein aus Mt. Terri (Opalinuston) untersucht. Als mobile Phase dient ein synthetisches Porenwasser.
- AP3: Speziation der Actiniden in der mobilen Phase. Zu diesem Zweck werden spektroskopische Methoden eingesetzt, insbesondere TRLFS und LIBD, sowie konventionelle Methoden (z. B. Extraktion und Kapillarelektrophorese).
- AP4: Speziation der Actiniden im Ton: bestimmt wird die räumliche Verteilung der Actiniden in der Tonmatrix nach Diffusionsversuchen. Es wird versucht eine Trennung und Speziation in verschiedenen Ton-Phasen durchzuführen. Das Ganze wird begleitet von Grundlagenuntersuchungen zur Actiniden-Tonorganika/Humat-Komplexierung
- AP5: Synthese des natürlichen Systems aus reinen Komponenten. Das natürliche System wird simuliert, indem organische Stoffe an gereinigten Tonmineralien mit verschiedenen Kationenaustausch-Belegungen polymerisiert werden, um die natürlichen Tonorganika mit ihren charakteristischen Eigenschaften und Bindungszuständen nachzubauen.



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Für die Aufbewahrung und die Aufbereitung von Ton-Bohrkerne für das Verbundprojekt wurde die Infrastruktur aufgebaut: Handschuhbox mit gesamten notwendigen Equipment zum sauerstofffreien Abdrehen und Pulverisieren, Inertgas -Fässer für Tonmaterial. Die von der BGR gelieferten Ton-Bohrkerne aus dem Mont Terri wurden aerob pulverisiert und homogenisiert und an alle Projektpartner ausgegeben (500 g pro Partner). Das Material wurde charakterisiert: Kationenaustausch-Kapazität ( $9 \pm 2$  meq/100g), Quecksilber-Porositmetrie (10.8 %), Röntgenfluoreszenz-Analyse ( $\text{SiO}_2$ , 44.2 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 19.2 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 6.5 %;  $\text{TiO}_2$ , 0.9 %; Organik, 0.8 %), DTA (Ca. 14 % Calcit, Spuren von Siderit und Dolomit), Mineralogie (Ton, 40-80 %; Quarz, 15-30 %; Calcit, 6-40 %; Pyrit, 1-3 %), DOC (0.5 – 1.3 %), BET-Oberfläche (38 m<sup>2</sup>/g davon 19 m<sup>2</sup>/g Mikroporen (kleiner 2 nm)). Die Datenblätter wurden an die Projektpartner verschickt. Es wurden Diffusionsversuche mit Americium, mit Pu-238 und ein Gemisch von Pu-238/Tritium gestartet, mit Opalinus-Ton als stationäre Phase und synthetischem Tonporenwasser als mobile Phase. Der Americium-Versuch wurde mittlerweile beendet und wird zurzeit ausgewertet. Die Plutonium-Versuche laufen noch weiter. Die Plutonium-Konzentration beträgt ca.  $2 \times 10^{-9}$  M. Die Pu-Oxidationsstufen wurde in dem Porenwasser mittels Flüssig-flüssig-Extraktion spezifiziert: in der Pu-Stammlösung wurde Pu(VI) und Pu(IV) zu 84 % und 16 % gefunden, nach 3 Monaten in der Porenlösung wurde hauptsächlich Pu(V) gebildet (77 %) neben 17 % Pu(IV) und 3 % Pu(VI). Grundlagen-Untersuchungen zur Actiniden-Komplexierung mit Huminstoff sind in einer Kooperation mit Uni-Potsdam durchgeführt worden. Die photodynamischen Prozesse der Cm(III)-Humatkomplexe wurden untersucht unter Einbeziehung oder Ausschluss verschiedener Energieübertragungsprozesse. Die Ergebnisse weisen mögliche Wege auf, um die mögliche Heterogenität der Komplexe sowie ihre kinetischen Modi zu charakterisieren.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Nach Beendigung der Am- und Pu-Versuche werden Post-Mortem-Analysen des Tons mittels Autoradiographie, REM und Laser-Ablation durchgeführt, um Wanderungspfade des Am und Pu zu charakterisieren. Die Pu-Oxidationsstufen in der Tonphase werden mit geeigneten Methoden bestimmt. Eine kommerzielle Kapillarelektrophorese-Apparatur wird an eine ICP-MS gekoppelt und anschließend ein geeignetes Trennsystem für Pu in Porenwasser gesucht. Grundlagenuntersuchungen zur Komplexierung von Cm, Np und Pu durch Huminstoffen werden fortgesetzt. Weiterhin werden erste Arbeiten zur Synthese des natürlichen Tonsystems aus reinen Komponenten gestartet.

Die bisherigen Ergebnisse zu den grundlegenden Mechanismen zur Actiniden-Humat-Komplexierung werden bei einem internationalen Workshop auf Zypern vorgestellt und diskutiert (17.-20. März 2007). Für die Planung der weiteren Untersuchungen zu diesem Thema wird die Diskussion mit diesem internationalen Expertenkreis berücksichtigt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Bauer A., Fiehn B., Marquardt, Ch., Klein M., Römer J., Schäfer Th., Görtzen A., Kienzler B. Results on the Pu diffusion in the Opalinus Clay. Second Annual Workshop Proceedings 6TH EC FP - FUNMIG IP, Stockholm 21st - 23rd November 2006.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10216</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Spektroskopische Untersuchungen zum erweiterten Prozessverständnis in binären und ternären Huminstoff-Tongestein - Lanthanoid Systemen: Thermodynamische und kinetische Kenngrößen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 275.839,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kumke	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im beantragten Forschungsvorhaben werden laserbasierte spektroskopische Methoden zur Untersuchung der Wechselwirkungen in ternären Systemen (weiter)entwickelt. Damit wird das Prozessverständnis in ternären Systemen auf molekularer Ebene erweitert und verbessert. Aus den experimentellen Arbeiten werden dann neue bzw. verbesserte thermodynamische und kinetische Kenngrößen zur Beschreibung der ternären Systeme ableitbar, die die Basis für ein umfassenderes Verständnis der molekularen Prozesse darstellen. Langzeitsicherheitsanalysen und Risikobewertungen von Endlagerstätten oder geologischen Barrieren werden durch das grundlegende Prozessverständnis so verlässlicher zu gestalten sein.

Das Projekt 02E10216 ist Teil des Verbundes „Wechselwirkung und Transport von Actiniden im natürlichen Tongestein unter Berücksichtigung von Huminstoffen und Tonorganika“. Thematisch eng verknüpft ist das Forschungsvorhaben mit den Teilvorhaben des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf (AP1, AP2), des Instituts für Nukleare Entsorgung des FZK (AP1, AP2), der TU München (AP1) sowie des Instituts für Interdisziplinäre Isotopenforschung Leipzig (AP5).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Interlanthanoid-Energietransfer in binären und ternären Systemen

AP2: Laser-Flash-Untersuchungen der Triplett-Zustände in binären und ternären Systemen

AP3: Anisotropie von Huminstoffen in binären und ternären Systemen

AP4: Kinetik der Sorption in binären und ternären Systemen (stopped-flow und Temperatursprung-Experiment)

AP5: Konkurrenz-Reaktionen der Wechselwirkungen zwischen Ln(III) und anderen Metallionen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

(AP1) Verschiedene organische Verbindungen wurden als Modellliganden in Europium-Komplexen mittels zeitaufgelöster laser-induzierter Fluoreszenz bei Raumtemperatur untersucht. Dabei wird u. a. der Effekt einer zur Carboxylgruppe benachbarten Hydroxylgruppe systematisch untersucht. Des Weiteren wurden Terbium und Europium auf Feststoffproben mit verschiedenen Aluminium-Silizium-Verhältnissen adsorbiert und der Einfluss auf die photophysikalischen Eigenschaften getestet. In den Feststoffproben wurde in allen Fällen eine nicht-exponentielle Lumineszenzabklingkinetik der Lanthanid-Ionen gefunden, was als Indiz für die Heterogenität der Sorptionsumgebungen gewertet werden kann.

(AP2) Der Aufbau des Blitzlichtphotolyse-Messplatzes ist anregungsseitig abgeschlossen und funktionsfähig. Von den beiden Detektionsstrahlengängen ist der erste installiert und erste Testmessungen werden in den folgenden Wochendurchgeführt. Der zweite Detektionsstrahlengang wird jetzt zeitnah aufgebaut, kalibriert und getestet werden.

(AP4) Die Komplexbildungskinetik von Lanthanoidionen mit Fulvonsäuren (FA) verschiedener Ursprungsorte wurde in stopped-flow-Experimenten gemessen. Für alle bislang untersuchten FA wurde eine sehr schnelle Komplexbildung innerhalb der Totzeit der Methode gefunden – im Gegensatz zu Huminsäuren (HA), bei denen noch eine weitere, langsame Komplexbildungskinetik zu beobachten ist.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die geplanten Weiterarbeiten folgen den im Antrag formulierten Ablaufplan. Für die nahe Zukunft sind folgende geplante:

(AP1) Als nächstes sollen stickstoff- und schwefelhaltige Liganden in Europium und Terbium-Komplexen mittels TRLFS untersucht werden. Außerdem soll mit den TRLFS-Messungen an kolloidalen Systemen begonnen werden.

(AP2) Nach Fertigstellung des Aufbaus der Blitzlichtphotolyse werden Testmessungen von Triplett-Zuständen bekannter Systeme zur Kalibration der Apparatur durchgeführt.

(AP3) Die zeitaufgelöste Fluoreszenzanisotropie von FA und HA in An- und Abwesenheit von a) Lanthanoid-Ionen und b) anorganischen Kolloiden wird bestimmt. Aus den Rotationskorrelationszeiten sollen Rückschlüsse auf die veränderte Größenverteilung durch die Metallkomplexierung abgeleitet werden.

(AP4) Die Datenbasis soll durch stopped-flow Untersuchungen weiterer HA und FA erweitert werden, um das unterschiedliche Zeitverhalten der Komplexierung besser beschreiben zu können

(AP5) Arbeiten beginnen erst in der 2. Hälfte 2007.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10226</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Gasmigration im Opalinus Ton in Abhängigkeit vom Gasinjektionsdruck (unterhalb des Fracdruckes) Kurztitel: HG-C		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 562.553,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Jockwer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Opalinus-Ton des Mont Terri soll in Abhängigkeit vom Gasdruck für unterschiedliche Gase die Migration ermittelt werden. Es soll damit in Abhängigkeit vom Injektionsdruck erfasst werden, ob verschiedene Gaskomponenten mit unterschiedlichem Molekulargewicht und unterschiedlicher Löslichkeit im Wasser ein unterschiedliches Migrationsverhalten haben.

Dicht verschlossene Bohrungen parallel und senkrecht zur Schichtung werden mit einem Tracergasgemisch beaufschlagt. Der Injektionsdruck wird beginnend bei Atmosphärendruck stufenweise bis über den Formationswasserdruck (3 MPa) erhöht. Ist die jeweilige Druckstufe eingestellt, wird im Messvolumen der Druckverlauf aufgezeichnet. Die Beobachtungszeit jeder Druckstufe wird voraussichtlich zwei Monate dauern. Am Ende jeder Druckstufe werden die Komponenten des Tracergases in verschiedenen Messintervallen bestimmt.

Die Messtechnik ist in anderen Vorhaben bereits erprobt worden. Die Auswertung der Ergebnisse kann mit vorhandenen Verfahren durchgeführt werden. Die Daten sind für Auslegung von Endlagern in Tonformationen von Bedeutung.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben untergliedert sich in:

- Injektion von Tracergasen unter Atmosphärendruck zur Bestimmung der Gasdiffusion
- Injektion von Tracergasen unterhalb des Formationswasserdruckes zur Bestimmung des Einphasenflusses im ungesättigten Porenraum
- Injektion von Tracergasen oberhalb des Formationswasserdruckes aber unterhalb des Fracdruckes zur Bestimmung des Zweiphasenflusses

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

In Zusammenarbeit mit der Firma Solexperts wurden die Vierfachpackersysteme konstruiert und gebaut. In der SB-Nische des Untertagelabors Mt. Terri wurden mit dem örtlichen Geologen die für den Versuch geeigneten Bohransatzpunkte festgelegt, die sechs Bohrungen (drei in und drei senkrecht zur Streichrichtung) als Vollbohrungen erstellt und vermessen. Unmittelbar nach Erstellung wurden die Packersysteme und die Ventilstationen mit den Druckaufnehmern installiert. Im Januar 2007 soll mit der Tracergasinjektion in die Messintervalle begonnen werden.

Ergebnisse liegen bisher nicht vor.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Für das Jahr 2007 sind vorgesehen:

Injektion des Tracergasgemisches in die Messintervalle beginnend mit Atmosphärendruck und Druckerhöhung in den Stufen von 0.5 MPa bis ca. 3.5 MPa. Bei den Druckstufen soll bei geschlossenem Intervall der Druckabfall über die Zeit bzw. bei Aufrechterhaltung des Druckes der Gasfluss bestimmt werden. Aus den Kontrollintervallen der Parallelbohrungen werden Gasproben entnommen und auf die Tracergaskomponenten analysiert, um den Gasfluss nach Menge und Richtung zu erfassen.

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10236</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2006 bis 31.10.2009		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.11.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 197.000,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Wieczorek	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In dem Vorhaben werden Rechenmodelle mit thermisch, hydraulisch und mechanisch gekoppelten Stoffansätzen zur Beschreibung der Langzeitentwicklung der Auflockerungszone (Extension Disturbed Zone EDZ) um Hohlräume in Endlagern für radioaktive Abfälle im Salzgestein überprüft und auf Basis gezielter Laborversuche weiterentwickelt. Sofern in Auswertung der Laborversuche und Modellrechnungen notwendig, ist beabsichtigt, sicherheitlich relevante Eigenschaften und Prozesse in die PA-(Performance Assessment) Modelle zu übernehmen.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projektes THERESA von der Europäischen Union gefördert und vom Projektträger PTKA-WTE co-finanziert. Das oben genannte deutsche Verbundprojekt umfasst die Arbeiten der GRS, Bereich Endlagersicherheitsforschung in Braunschweig, der DBE TECHNOLOGY in Peine und des IfG Leipzig.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erstellung eines Fragen- bzw. Aufgabenkatalogs (Issue Evaluation Table – IET) für die zielorientierte Bewertung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit der vorhandenen Codes bzw. Modelle (wird von GRS und DBE TECHNOLOGY bearbeitet)
- AP2: Datensammlung zur Modellierung der Entwicklung und Rückbildung der EDZ sowie von hydraulisch-mechanischen Wechselwirkungen
- AP3: Modellkalibrierung und Integration der konstitutiven Modelle in die Rechencodes
- AP4: Benchmark-Laborversuch und Rechnungen mit dem modifizierten Stoffgesetz
- AP5: Durchführung von PA-Rechnungen unter Berücksichtigung der EDZ-Entwicklung (wird von GRS bearbeitet)
- AP6: Berichtserstellung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Vorbereitend zum Kick-off Meeting des EU-Projektes Theresa wurde von den Partnern des BMWi-Verbundprojektes eine Planungssitzung am 12. Dezember 2006 bei der GRS in Braunschweig zum „Work Package 3: Coupled Processes in Salt Host-Rock Repositories“ durchgeführt.

Im Vordergrund stand die Abstimmung der vorläufig definierten Hauptfragen, die in der „Issue Evaluation Table (IET)“ berücksichtigt werden müssen: Dieses sind vorläufig

- die Absicherung von Modellansätzen zur Beschreibung der EDZ-Entwicklung (Schädigungsverhalten, bzw. zeitabhängige Dilatanzentwicklung)
- die EDZ-Rückbildung
- Verknüpfung von Dilatanz und Permeabilität
- die Robustheit bzw. Sensitivität einzelner Parameter
- Einfluss von Feuchte und Temperatur

Da bis dahin keine Diskussionen in Bezug auf Form und Inhalt der vorgesehenen IET vorhanden waren, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt mit dem Ergebnis, dass ein ähnliches Instrument bereits im Jahre 1998 im Rahmen der „Äspö Task Force on Modelling of Groundwater Flow and Transport of Solutes“ vorgelegt wurde. Der entsprechende Bericht wurde von SKB angefordert, um Verzögerungen bei der Erstellung der eigenen IET zu vermeiden.

Weiterhin wurden die Planungen zur Auslegung des Benchmark-Tests an einem großen gelochten Salzkern ( $D=280$  mm,  $H=700$  mm) in der MTS-Prüfanlage der GRS aufgenommen. Durch Gespräche mit potenziellen Anbietern wurde ein aus Druckmesskissen auf Basis hydraulischer Pufferspeicherblasen als möglicherweise best geeignetes Messsystem zur Bestimmung des Quelldruckes des im Versuch vorgesehenen SVV-Materials identifiziert. Für Vorversuche wurde ein Probeexemplar bestellt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Zuarbeit zur Erstellung des Theresa Work Plan bis Ende Januar 2007
- Erstellung einer vorläufigen Version der Issue Evaluation Table bis Ende Februar 2007
- Durchführung der Datensammlung und Erstellung eines Untersuchungsprogramms für ergänzende Laborexperimente
- Prüfung der im Code\_Bright implementierten Stoffansätze sowie Festlegung der für die Modellierung notwendigen mechanischen und hydraulischen Parameter

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10246</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2006 bis 31.10.2009		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.11.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 74.878,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Müller-Hoppe	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In dem Vorhaben werden Rechenmodelle mit thermisch, hydraulisch und mechanisch gekoppelten Stoffansätzen zur Beschreibung der Langzeitentwicklung der Auflockerungszone (Extension Disturbed Zone EDZ) um Hohlräume in Endlagern für radioaktive Abfälle im Salzgestein überprüft und auf Basis gezielter Laborversuche weiterentwickelt. Sofern in Auswertung der Laborversuche und Modellrechnungen notwendig, ist beabsichtigt, sicherheitlich relevante Eigenschaften und Prozesse in die PA-(Performance Assessment) Modelle zu übernehmen.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projektes THERESA von der Europäischen Union gefördert und vom Projektträger PTKA-WTE co-finanziert. Das oben genannte deutsche Verbundprojekt umfasst die Arbeiten der GRS, Bereich Endlagersicherheitsforschung in Braunschweig, der DBE TECHNOLOGY in Peine und des IfG Leipzig.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erstellung eines Fragen- bzw. Aufgabenkatalogs (Issue Evaluation Table – IET) für die zielorientierte Bewertung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit der vorhandenen Codes bzw. Modelle (wird von GRS und DBE TECHNOLOGY bearbeitet)
- AP2: Datensammlung zur Modellierung der Entwicklung und Rückbildung der EDZ sowie von hydraulisch-mechanischen Wechselwirkungen
- AP3: Modellkalibrierung und Integration der konstitutiven Modelle in die Rechencodes
- AP4: Benchmark-Laborversuch und Rechnungen mit dem modifizierten Stoffgesetz
- AP5: Durchführung von PA-Rechnungen unter Berücksichtigung der EDZ-Entwicklung (wird von GRS bearbeitet)
- AP6: Berichtserstellung



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

Am 12. Dezember 2006 fand bei der GRS in Braunschweig ein erstes Abstimmungsgespräch unter den deutschen Projektpartnern des EU-Projektes THERESA statt. Dieses Gespräch diente zur Vorbereitung des Kick-off Meetings am 9. und 10. Januar 2007 in Stockholm.

Zu den einzelnen Arbeitspaketen wurden bei DBE Technology im Berichtszeitraum folgende Arbeiten durchgeführt.

AP1:

Im Abstimmungsgespräch wurden zunächst die wichtigsten Fragestellungen, die in der „Issue Evaluation Table (IET)“ berücksichtigt werden müssen, festgelegt. Diese betreffen insbesondere die Absicherung der Modellansätze zur zeitabhängigen Beschreibung der EDZ-Entwicklung unter Berücksichtigung des Schädigungsverhaltens und die Verknüpfung von Dilatanz und Permeabilität. Dabei soll auch die Robustheit bzw. Sensitivität einzelner Parameter sowie Einfluss von Feuchte und Temperatur betrachtet werden.

AP2:

Es wurde mit einer Literaturrecherche zu Laborversuchen, bei denen der Zusammenhang Dilatanz - Permeabilität untersucht wurde, begonnen. Hinsichtlich des geplanten Einsatzes des Programms FLAC3D mit dem vorgesehenen Stoffgesetz cwipp wurde geprüft, inwieweit zur Kalibrierung des Modells erforderliche Versuchsdaten bereits vorhanden sind.

AP3 – AP6:

Keine

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP1:

Zuarbeit zur Erstellung des THERESA Work Plan und Erstellung einer vorläufigen Version der Issue Evaluation Table

AP2:

Vervollständigen der Datensammlung und Erstellung eines Untersuchungsprogramms für ergänzende Laborexperimente

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10256</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2006 bis 31.10.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.11.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 62.389,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kamlot	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In dem Vorhaben werden Rechenmodelle mit thermisch, hydraulisch und mechanisch gekoppelten Stoffansätzen zur Beschreibung der Langzeitentwicklung der Auflockerungszone (Extension Disturbed Zone EDZ) um Hohlräume in Endlagern für radioaktive Abfälle im Salzgestein überprüft und auf Basis gezielter Laborversuche weiterentwickelt. Sofern sich in Auswertung der Laborversuche und Modellrechnungen die Notwendigkeit ergibt, ist beabsichtigt, sicherheitlich relevante Eigenschaften und Prozesse in die PA-(Performance Assessment) Modelle zu übernehmen.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projektes THERESA von der Europäischen Union gefördert und vom Projektträger PTKA-WTE co-finanziert. Das oben genannte deutsche Verbundprojekt umfasst die Arbeiten der GRS, Bereich Endlagersicherheitsforschung in Braunschweig, der DBE TECHNOLOGY in Peine und des IfG Leipzig.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erstellung eines Fragen- bzw. Aufgabenkatalogs (Issue Evaluation Table IET) für die zielorientierte Bewertung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit der vorhandenen Codes bzw. Modelle (wird von GRS und DBE TECHNOLOGY bearbeitet)
- AP2: Datensammlung zur Modellierung der Entwicklung und Rückbildung der EDZ sowie von hydraulisch-mechanischen Wechselwirkungen
- AP3: Modellkalibrierung und Integration der konstitutiven Modelle in die Rechencodes
- AP4: Benchmark-Laborversuch und Rechnungen mit dem modifizierten Stoffgesetz
- AP5: Durchführung von PA-Rechnungen unter Berücksichtigung der EDZ-Entwicklung (wird von GRS bearbeitet)
- AP6: Berichterstellung

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

Am 12. Dezember 2006 fand bei der GRS in Braunschweig ein erstes Abstimmungsgespräch unter den deutschen Projektpartnern innerhalb der Projektlaufzeit statt.

Es wurden abgestimmt:

- Verteilung der Arbeiten innerhalb der Description of Work (DoW)
- Abstimmung der Deliverables
- Aufbau und Bearbeitung der Issue Evaluation Table (IET)
- Vorbereitung des Kick-off Meetings am 9. und 10. Januar 2007 in Stockholm

Im Rahmen des Arbeitspaketes 2 erfolgten erste Literaturrecherchen zu Laborversuchen, bei denen im dilatanten Zustand untersucht wurde, wie sich die Permeabilitäten in Abhängigkeit von einer Kompaktion der dilatanten Bereiche zurückbilden.

Weiterhin wurden Veröffentlichungen zu hydraulisch-mechanisch gekoppelten Modellrechnungen ausgewertet und geprüft, inwieweit die maßgeblichen physikalischen Wechselwirkungen mit dem Programmsystem FLAC simuliert werden können.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Zuarbeit an GRS zur Erstellung einer vorläufigen Version der Issue Evaluation Table
- Datensammlung bzgl. Permeabilitätsuntersuchungen am dilatanten Steinsalz und der Ursachen für eine Permeabilitätsverringern
- Prüfung der im Code FLAC implementierten Stoffansätze sowie Festlegung der für die Modellierung notwendigen mechanischen und hydraulischen Parameter

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Forschungsge- lände, 85748 Garching		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10266</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Numerische Modellierung der Dilatanz-induzierten, perkolutiven Permeation in Salzgestein		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 101.350,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Alkan	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines numerischen Modells für die Dilatanz-induzierte perkulative Permeationserhöhung im Steinsalz. Ein Perkulationsmodell für das Dilatanz-Permeabilitätsverhalten von Steinsalz wird basierend auf den vorliegenden Messdaten und Korrelationsanalysen entwickelt. Die Erklärung der dreistufigen Permeabilitätsänderung induziert durch Dilatanz bzw. deviatorische Spannungszustände in Steinsalz mit der Perkulationstheorie ist plausibel und bildet daher den Ausgangspunkt. Das Perkulationsmodell wird basierend auf den experimentellen Ergebnissen validiert. Die numerischen Daten werden mit experimentellen Ergebnissen verglichen und ihre Gültigkeit getestet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### *AP1 Literatur und Korrelationsanalyse*

Die vorliegenden experimentellen Ergebnisse über Dilatanz-Permeabilitätsverhalten für Steinsalz werden durchgearbeitet und im Hinblick auf das Perkulationsverhalten sowie das Verhalten diesseits und jenseits der Dilatanzgrenze mit relevanten Prozessparametern korreliert.

### *AP2 Triaxiale Experimente*

Die Modellierung der kritischen Permeabilitätsentwicklung bzw. der Perkulation soll auch mit Mikrorissnetz-Parametern korrelierbar sein. Um diese Vorstellungen abzusichern und in der Modellentwicklung und Validierung berücksichtigen zu können, sind vier Deformations-/Kompressionsexperimente geplant. Steinsalzkerne mit möglichst unterschiedlicher Struktur werden unter triaxialen Spannungsbedingungen für die Entwicklung der Porosität und Permeabilität verwendet. Die Mikrorisseigenschaften dieser Kerne werden vor und nach den Experimenten gemessen und visualisiert.

### *AP3 Modellentwicklung*

Ein Perkulationsmodell für das Dilatanz-Permeabilitätsverhalten von Steinsalz wird basierend auf den vorliegenden Messdaten und Korrelationsanalysen entwickelt.

### *AP4 Modellvalidierung und Parameterstudien*

Das Perkulationsmodell wird basierend auf den experimentellen Ergebnissen validiert. Die numerischen Daten werden mit experimentellen Ergebnissen verglichen und ihre Gültigkeit getestet.

### *AP5 Dokumentation*

Die durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse werden schriftlich dokumentiert.

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

Die geplanten Arbeiten zum AP1 wurden durchgeführt und zum größten Teil abgeschlossen. Die zur Verfügung stehenden numerischen Ansätze und ihre Validierungsdaten wurden in Rahmen der Literaturrecherche erfasst und ausgewertet. Die experimentellen Ergebnisse und die empirischen Korrelationen des BMBF Projektes 02 C 0598, „Mechanische und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen des Gebirges in Verbindung mit der Planung von Verschlussbauwerken im Salinar, Teil 2; Hydraulische Modellbildung“ wurden im Besonderen ausgewertet und für die weiteren AP's aufgearbeitet.

Vier Deformations-/Kompressionsexperimente wurden in Absprache mit der TU Clausthal, Institut für Aufbereitung und Deponietechnik (Dr.-Ing. U. Düsterloh) für den Zeitraum März-April 2007 geplant. Steinsalzkerne mit möglichst unterschiedlicher Struktur werden unter triaxialen Spannungsbedingungen zur Messung der Entwicklung von Porosität und Permeabilität verwendet. Die Randbedingungen für die Messungen werden von ISTec definiert und die Messdaten (Spannungs-, Dilatanz-, Permeabilitätsverlauf als Funktion der Zeit) sowie die belasteten Kerne an ISTec ausgeliefert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die AP3, AP4 und AP5 werden weiter bearbeitet.

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10276</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Weiterentwicklung sicherheitsanalytischer Methoden zur Vorbereitung eines Safety Case in Deutschland -WESAM-		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2006 bis 30.09.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 778.575,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Rübel	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

WESAM stellt im Wesentlichen das nationale Ko-Vorhaben für die Arbeiten der GRS-Braunschweig im Rahmen des integrierten Projektes (IP) PAMINA dar, das im 6. Rahmenprogramm der Europäischen Union von Oktober 2006 bis September 2009 durchgeführt wird. Das übergeordnete Ziel des IP PAMINA und damit auch von WESAM besteht in der Verbesserung und Harmonisierung von Methoden und Rechenprogrammen für die integrierte Langzeitsicherheitsanalyse für unterschiedliche Konzepte zur Entsorgung langlebiger radioaktiver Abfälle und bestrahlter Brennelemente in tiefen geologischen Formationen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Struktur von WESAM entspricht jener des Projektes PAMINA und beinhaltet vier Arbeitspakete:

Im ersten Arbeitspaket wird ein umfassender Überblick über den internationalen Stand der Methoden und Ansätze bei der Langzeitsicherheitsanalyse und beim Safety Case erarbeitet. Dabei werden auch die Defizite methodischer Natur, bei den eingesetzten Werkzeugen und der Qualität der benötigten Daten identifiziert.

Im zweiten Arbeitspaket erfolgt eine Weiterentwicklung von Methoden für probabilistische Modellrechnungen, wobei vor allem die Methoden zur Bestimmung von Verteilungsfunktionen und neue mathematische Methoden zur Sensitivitätsanalyse untersucht werden.

Im dritten Arbeitspaket werden die Bedeutung von Sicherheitsfunktionen bei der Ableitung von Szenarien und vor allem die Nutzung von Sicherheits- und Funktionsindikatoren für Endlager in Salz- und Tonformationen betrachtet.

Im vierten Arbeitspaket wird die Bedeutung von komplexen Modellansätzen in integrierten Sicherheitsanalysen untersucht. Dies geschieht mit Hilfe vergleichender Rechnungen verschiedener Organisationen und Rechenprogramme. Dabei sollen Einzeleffekte in einem Endlager im Salz betrachtet, sowie der Einfluss der Komplexität der Fernfeldmodelle betrachtet werden.

In einigen Punkten geht die Bearbeitungstiefe in WESAM über die von PAMINA hinaus. Dies betrifft die Arbeiten zu den Unsicherheiten, die Sicherheitsindikatoren und die Modellierung mit Hilfe komplexer Modellansätze.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Projekte WESAM und das dadurch kofinanzierte Projekt PAMINA haben erst zum 01.10.2006 begonnen. Das Kick-Off Meeting fand am 12. und 13. Oktober 2006 in Brüssel statt.

Aus dem späten Beginn des Projektes folgt, dass die bisher erfolgten inhaltlichen Arbeiten vor allem der Organisation und der Projektabstimmung mit den internationalen Partnern dienen.

- AP1: Es wurden die ersten vier Aspekte festgelegt, die in dem Review der sicherheitsanalytischen Methoden betrachtet werden sollen. Diese sind: Sicherheitsfunktionen, Definition und Bewertung von Szenarien, Sicherheits- und Funktionsindikatoren und die Behandlung von Unsicherheiten und Unsicherheitsanalyse.  
Bestandsaufnahme der bisherigen Behandlung von Unsicherheiten in Langzeitsicherheitsanalysen in Deutschland in Form eines Questionnaires zur Vorbereitung eines Workshops im ersten Halbjahr 2007.
- AP3: Es wurde mit der konzeptuellen Planung für die Arbeiten zu den Sicherheitsindikatoren begonnen und ein Arbeitsplan für die ersten 18 Monate erstellt.
- AP4: Es erfolgte die Abstimmung mit NRG, in welcher Reihenfolge die Einzelaspekte im Nahfeld im Salz bearbeitet werden sollen. Die Reihenfolge wurde zu
- Modellierung des Konvergenzprozesses,
  - Modellierung des Laugenzutritts in eine verfüllte Strecke und
  - Modellierung konvektiver Transportphänomene
- festgelegt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Beginn des Reviews sicherheitsanalytischer Methoden zu den Themengebieten Sicherheitsindikatoren und Behandlung von Unsicherheiten.
- AP2: Teilnahme am Workshop über die Behandlung regulatorischer Unsicherheiten.  
Zusammenstellung der mathematischen Methoden zur Sensitivitätsanalyse.  
Beginn der notwendigen Entwicklungsarbeiten an dem Modulen LOPOS und CHET.  
Definition des ersten Testfalls zum Test der varianzbasierten statistischen Methoden.
- AP3: Beginn der Identifikation von Sicherheitsindikatoren für Endlager im Salz.  
Definition des Testfalls zur Anwendung der Sicherheitsindikatoren in Salz.
- AP4: Modellierung des Konvergenzprozesses für ein Endlager im Salzgestein.  
Festlegung der Geometrie und der Daten für ersten Testfall des Deckgebirgsmodells zur Untersuchung der Bedeutung komplexer Modelle im Fernfeld eines Endlagers im Salz.  
Definition des ersten generischen Testfalls zur Untersuchung der Auswirkungen geometrischer Komplexität bei Transportmodellen im Fernfeld. Festlegung der Radionuklidströme aus dem Nahfeld und Beginn der Rechnungen mit  $d^3f$  und  $r^3t$ .

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10286</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tongestein (ERATO)	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2006 bis 30.09.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2006 bis 31.12.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 524.906,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Pöhler

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens besteht in der Entwicklung eines Konzeptes für ein Endlager im Ton in Deutschland. Dabei soll zunächst der Stand der internationalen Erfahrungen bei der Standortsuche und Erkundung von Endlagern in Tonformationen zusammengestellt und auf Übertragbarkeit überprüft werden. Die vorgesehenen Planungen konzentrieren sich auf die Auslegung, die bergmännische und bautechnische Herstellung bzw. Ausbau von unterirdischen Grubenräumen in Tonformationen, die Auswahl von Behältermaterialien und –konzepten sowie die entsprechenden Einrichtungen und Geräte zum Betreiben eines Endlagers im Tongestein. Darüber hinaus werden Fragen zu Safeguards und zu dem erforderlichen Aufwand zur Errichtung und zum Betrieb eines solchen Endlagers behandelt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Einzelnen sind folgende Arbeitspakete vorgesehen:

- AP1: Ermittlung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik zur Standortsuche und -erkundung im Tonstein
- AP2: Ermittlung der Methoden und Verfahren zur Herstellung von Erkundungsbohrungen und Schächten im Tonstein
- Herstellung von Grubenbauen im Tongestein
  - Ermittlung der praktischen Erfahrungen bei der übertägigen Aufhaldung von bergmännisch aufgefahrenem Tongestein im Hinblick auf eine spätere Nutzung als Verfüllmaterial
- AP3: Konzeptionelle Planung eines Endlagers anhand vorher ermittelter Daten und Abfallmengen
- Erstellung eines Referenzdatensatzes (Daten für einen Referenzstandort)
  - Behälterkonzepte und Abfallmengen
  - Thermische Auslegungsrechnungen
  - Grubengebäudeplanung
  - Vortriebs- und Bohrtechnik
  - Transport-/Einlagerungssysteme
  - Bewetterung/Strahlenschutz
  - Verfüll-/Verschlusskonzept
- AP4: Safeguards



- AP5: Abschätzen des Aufwandes für die Planung, Genehmigung und Realisierung eines Endlagers im Tonstein  
 AP6: Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: - Herstellung von Grubenbauen im Tongestein  
 Die Bearbeitung für die Herstellung von Grubenbauen im Tongestein soll extern ab Januar 2007 erfolgen. Der Auftrag wurde vergeben.
- AP3: - Erstellung eines Referenzdatensatzes (Daten für einen Referenzstandort)  
 Ein Referenzstandort wurde an Hand von geologischen, geomechanischen und thermischen Kriterien festgelegt. Er befindet sich in den Unterkreide Tonen des Niedersächsischen Beckens nördlich von Hannover. Mit der Zusammenstellung der Daten für diesen Referenzstandort wurde begonnen.
- Behälterkonzepte und Abfallmengen  
 Hinsichtlich der für eine Endlagerung im Tongestein infrage kommenden hochradioaktiven und wärmeentwickelnden Abfallmengen wurde das Abfallmengengerüst basierend auf aktuellen Zahlen festgelegt.  
 Mit dem Ziel, eine Bewertung einer möglichen Adaption der für eine Endlagerung im Salz vorgesehenen Endlagerbehälter und Einlagerungstechnologien im Tongestein vorzunehmen, wurde mit der Auswertung der Einlagerungskonzepte im Tongestein in den Ländern Schweiz, Frankreich und Belgien begonnen.
  - Grubengebäudeplanung  
 Hinsichtlich der Grubengebäudeplanung wurde mit der Zusammenstellung von Anforderungen an den Grubengebäudezuschnitt für ein Endlager im Tongestein sowie mit der Darstellung und Bewertung verschiedener möglicher Konzeptionen begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Für den nächsten Berichtszeitraum sind folgende Schwerpunkte aus dem Arbeitsprogramm vorgesehen:

- AP1: Ermittlung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik zur Standortsuche und - erkundung im Tonstein
- AP2: Ermittlung der Methoden und Verfahren zur Herstellung von Erkundungsbohrungen und Schächten im Tonstein
- Herstellung von Grubenbauen im Tongestein
  - Ermittlung der praktischen Erfahrungen bei der übertägigen Aufhaldung von bergmännisch aufgefahretem Tongestein im Hinblick auf eine spätere Nutzung als Verfüllmaterial
- AP3: Konzeptionelle Planung eines Endlagers anhand vorher ermittelter Daten und Abfallmengen
- Erstellung eines Referenzdatensatzes (Daten für einen Referenzstandort)
  - Behälterkonzepte und Abfallmengen
  - Grubengebäudeplanung
  - Vortriebs- und Bohrtechnik
  - Transport-/Einlagerungssysteme

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Regina-Pacis-Weg 3, 53113 Bonn		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10296</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme $d^3f$ und $r^3t$ - Visualisierung und Datenanalyse		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2006 bis 30.09.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 82.938,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Rumpf	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Entwicklung der Programmpakete  $d^3f$  und  $r^3t$  stehen Werkzeuge zur Modellierung der salzgetriebenen Dichteströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien zur Verfügung. Im Rahmen dieser Projekte haben die Arbeitsgruppen in Bonn und Freiburg Visualisierungswerkzeuge für die großen und komplexen Datensätze in 2D und vor allem in 3D entwickelt. Diese Werkzeuge sollen nun weiterentwickelt werden und den neuen Fragestellungen im Zusammenhang mit Kluftgeometrien und freien Oberflächen angepasst werden.

Diese Visualisierung soll hierarchisch konzipiert werden. D. h. in der interaktiven Exploration werden grobe Repräsentationen der Daten bereitgestellt, die effektiv in Echtzeit zeitlich animiert oder räumlich skaliert und gedreht werden können. Finale graphische Ergebnisse und Animationen sollen hingegen den vollen Detailreichtum der Simulationen widerspiegeln.

Die Datenanalyse dreidimensionaler zeitabhängiger Daten erfordert lokalisierte Techniken der Visualisierung. D. h. es soll möglich sein an Raumpunkten über die Zeit, oder auf Kurven in Raumzeit, oder auch auf Domänengrenzen über die Zeit die Entwicklung skalarer oder vektorieller sowie akkumulierter Größen auszulesen und graphisch aufzubereiten.

Schon im Projekt  $r^3t$  wurden Multiskalen-Bildverarbeitungstechniken entwickelt, um die Strömungsfelder und den Transport von Schadstoffen visuell angemessen aufzubereiten und damit ein Verständnis der simulierten Prozesse zu ermöglichen. Diese Methoden sollen nun vor allem in Hinblick auf dreidimensionale Strömungen mit Schadstofftransport weiterentwickelt werden.

Die Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der GRS (Dr. E. Fein), Uni Jena (Prof. Attinger), der Uni Freiberg (Prof. Kröner) und der Uni Heidelberg (Prof. Wittum) durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

AP9: Visualisierung und Datenanalyse (Arbeitsgruppe Rumpf)

AP10: Visualisierung und Datenanalyse (Arbeitsgruppe Rumpf)

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

Es wurde begonnen, die zu entwickelte Software zu entwerfen und es wurden erste konzeptionelle Diskussionen zu den mehrskaligen Bildverarbeitungsmethoden geführt. Ferner wurde die Aufgabenbeschreibung der zu besetzende Mitarbeiterstelle erstellt. Eine Einstellung wird daraus resultierend zum 1.3.2007 erfolgen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise aufgenommen.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fahnenbergplatz, 79098 Freiburg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10306</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme $d^3f$ und $r^3t$ - Entwicklung effizienter Diskretisierungsverfahren für die zu entwickelnden numerischen Verfahren zur Datenanalyse		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2006 bis 30.09.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 94.760,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Kröner	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Entwicklung der Programmpakete  $d^3f$  und  $r^3t$  stehen Werkzeuge zur Modellierung der salzgetriebenen Dichteströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien zur Verfügung. Im Rahmen dieser Projekte haben die Arbeitsgruppen in Bonn und Freiburg Visualisierungswerkzeuge für die großen und komplexen Datensätze in 2D und vor allem in 3D entwickelt. Diese Werkzeuge sollen nun weiterentwickelt werden und den neuen Fragestellungen im Zusammenhang mit Kluftgeometrien und freien Oberflächen angepasst werden.

Diese Visualisierung soll hierarchisch konzipiert werden. D. h. in der interaktiven Exploration werden grobe Repräsentationen der Daten bereitgestellt, die effektiv in Echtzeit zeitlich animiert oder räumlich skaliert und gedreht werden können. Finale graphische Ergebnisse und Animationen sollen hingegen den vollen Detailreichtum der Simulationen widerspiegeln.

Die Datenanalyse dreidimensionaler zeitabhängiger Daten erfordert lokalisierte Techniken der Visualisierung. D. h. es soll möglich sein an Raumpunkten über die Zeit, oder auf Kurven in Raumzeit, oder auch auf Domänengrenzen über die Zeit die Entwicklung skalarer oder vektorieller sowie akkumulierter Größen auszulesen und graphisch aufzubereiten.

Schon im Projekt  $r^3t$  wurden Multiskalen-Bildverarbeitungstechniken entwickelt, um die Strömungsfelder und den Transport von Schadstoffen visuell angemessen aufzubereiten und damit ein Verständnis der simulierten Prozesse zu ermöglichen. Diese Methoden sollen nun vor allem in Hinblick auf dreidimensionale Strömungen mit Schadstofftransport weiterentwickelt werden.

Die Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der GRS (Dr. E. Fein), Uni Jena (Prof. Attinger), der Uni Bonn (Prof. Rumpf) und der Uni Heidelberg (Prof. Wittum) durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

AP9: Visualisierung und Datenanalyse (Arbeitsgruppe Kröner)

AP10: Visualisierung und Datenanalyse (Arbeitsgruppe Kröner)

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

Es wurde begonnen, die zu entwickelte Software zu entwerfen und es wurden erste konzeptionelle Diskussionen zu den mehrskaligen Bildverarbeitungsmethoden geführt. Ferner wurde die Aufgabenbeschreibung der zu besetzende Mitarbeiterstelle erstellt. Eine Einstellung wird daraus resultierend zum 1.3.2007 erfolgen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise aufgenommen.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10316</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme $d^3f$ und $r^3t$ - Skalierung von halinen und thermohalinen Strömungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2006 bis 30.09.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 82.404,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Attinger	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Entwicklung der Programmpakete  $d^3f$  und  $r^3t$  stehen Werkzeuge zur Modellierung der salzgetriebenen Dichteströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien zur Verfügung. Um die Anwendbarkeit der beiden Programmpakete auch auf die Wirtsfornationen Ton und Kristallin auszudehnen, ist eine Weiterentwicklung zur expliziten Berücksichtigung von Klüften und Kluftsystemen Voraussetzung. Bei der Modellierung von Einflüssen durch Klimaveränderungen kann der Wärmetransport nicht mehr vernachlässigt werden. Deshalb wird die Modellierung der Dichteströmung auf den Einfluss des Wärmetransportes ausgedehnt. Hierzu wird das Skalenverhalten von thermohalinen Strömungen in heterogenen Medien untersucht. Um Modellierungen im oberflächennahen Bereich zu ermöglichen, wird auch die Berücksichtigung von phreatischen und Potentialströmungen ermöglicht. Selbstverständlich werden auch Prä- und Postprozessoren zur Dateneingabe und zur Ergebnisdarstellung den erweiterten Anforderungen angepasst.

Die Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der Uni Jena (Prof. Attinger), der Uni Freiberg (Prof. Kröner), der Uni Bonn (Prof. Rumpf) und der Uni Heidelberg (Prof. Wittum) durchgeführt. Zusätzlich ist auch das Steinbeis-Forschungszentrum (Dr. Heisig) über einen Unterauftrag eingebunden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete von der Gruppe Attinger (Universität Jena) bearbeitet:

- AP5: Skalierung von halinen und thermohaliner Strömungen in heterogenen geologischen Medien
- WP1: Stabilitätsanalyse von halinen und thermohalinen Strömungen in heterogenen geologischen Medien
- WP2: Skalierung von halinen und thermohalinen Strömungen in heterogenen geologischen Medien

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

Es wurde mit der Bearbeitung von WP1 begonnen. Es wurde eine lineare Stabilitätsanalyse mit einer Mehrskalentwicklung verbunden, um den Beginn von Instabilitäten vorherzusagen und robuste Stabilitätskriterien für haline und thermohaline Strömungen in heterogenen geologischen Medien aufzustellen. Erste analytische Ergebnisse liegen in niedrigster Ordnung Störungstheorie der geologischen Heterogenitäten und im Limes langer Zeiten vor. Die Ergebnisse werden aktuell interpretiert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden entsprechend der im Auftrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 69117 Heidelberg	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10326</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme $d^3f$ und $r^3t$ - Modellierung des Wärmetransports und Modellierung freier Oberflächen	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2006 bis 30.09.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2006 bis 31.12.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 654.710,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Wittum

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Projekts ist die Modellierung des Wärmetransports in  $d^3f$  (AP6) und die Modellierung freier Oberflächen in  $d^3f$  und  $r^3t$  (AP8) einzubringen.

Zur Einbeziehung der Kopplung muss zusätzlich die Energiegleichung aufgestellt und in das Modell eingekoppelt werden. Zur Diskretisierung werden die bestehenden Finite-Volumen-Verfahren und neuartige unstetige Galerkin-Methoden herangezogen. Das entstehende algebraische System wird mit Hilfe von Mehrgitterverfahren voll gekoppelt gelöst. Hierzu muss das bestehende Lösungsverfahren erweitert und in wesentlichen Teilen neu entwickelt und implementiert werden. Alles muss in die Parallelisierung einbezogen werden. Zur Modellierung der freien Oberfläche muss zunächst eine stabile Beschreibung der freien Oberfläche und des ortsabhängigen Eintrags in den Grundwasserleiter erstellt werden. Das effektive Modell aus AP5 (Skalierung von halinen und thermohalinen Strömungen) muss hier numerisch gelöst werden.

Die Ergebnisse werden zusammen mit den Projektpartnern verwertet. Das Simulationssystem UG ist weltweit über 350-mal lizenziert. Diese Nutzergemeinde ist eine ausgezeichnete Plattform zur Verbreitung und Verwertung der Projektergebnisse.

Es erfolgt eine Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS), Braunschweig, dem Institut für Numerische Simulation der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, dem Mathematischen Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und dem Institut für Geowissenschaften der Universität Jena.

Das Verbundprojekt ist ein Folgevorhaben der beiden BMBF-Projekte vom 01.10.1994 – 31.08.1998 (FKZ 02 C 0254 6 und 02 C 0465 0) und vom 01.10.1998 – 31.12.2003 (FKZ 02 E 9148 2).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP6: Modellierung des Wärmetransports

- Aufstellen und Einkoppeln der Energiegleichung : Boussinesq-Approximation
- Aufstellen und Einkoppeln der Energiegleichung : volles Modell
- Diskretisierung: Finite Volumen
- Diskretisierung: Unstetiges Galerkin-Verfahren, Ordnungsadaptivität



- Löser: Geometrisches Mehrgitter
- Löser: FAMG
- Validierung und Tests

AP8: Modellierung freier Oberflächen und Potentialströmungen in  $d^3f$  und  $r^3t$

- Formulierung des Problems der freien Oberfläche
- Diskretisierungsverfahren
- Löser
- Validierung und Tests

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

- Literaturrecherche zum Aufstellen und Einkoppeln der Energiegleichung: Boussinesq-Approximation

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP6: Modellierung des Wärmetransports

- Aufstellen und Einkoppeln der Energiegleichung : Boussinesq-Approximation
- Diskretisierung: Finite Volumen
- Löser: Geometrisches Mehrgitter

AP8: Modellierung freier Oberflächen und Potentialströmungen in  $d^3f$  und  $r^3t$

- Formulierung des Problems der freien Oberfläche
- Diskretisierungsverfahren

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10336</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d <sup>3</sup> f und r <sup>3</sup> t		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2006 bis 31.03.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.288.348,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Fein	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Entwicklung der Programmpakete d<sup>3</sup>f und r<sup>3</sup>t stehen Werkzeuge zur Modellierung der salzgetriebenen Dichteströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien zur Verfügung. Um die Anwendbarkeit der beiden Programmpakete auch auf die Wirtsfaltungen Ton und Kristallin auszudehnen, ist eine Weiterentwicklung zur expliziten Berücksichtigung von Klüften und Kluftsystemen Voraussetzung. Bei der Modellierung von Einflüssen durch Klimaveränderungen kann der Wärmetransport nicht mehr vernachlässigt werden. Deshalb wird die Modellierung der Dichteströmung auf den Einfluss des Wärmetransportes ausgedehnt. Hierzu wird das Skalenverhalten von thermohalinen Strömungen in heterogenen Medien untersucht. Um Modellierungen im oberflächennahen Bereich zu ermöglichen, wird auch die Berücksichtigung von phreatischen und Potentialströmungen ermöglicht. Selbstverständlich werden auch Prä- und Postprozessoren zur Dateneingabe und zur Ergebnisdarstellung den erweiterten Anforderungen angepasst.

Die Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der Uni Jena (Prof. Attinger), der Uni Freiberg (Prof. Kröner), der Uni Bonn (Prof. Rumpf) und der Uni Heidelberg (Prof. Wittum) durchgeführt. Zusätzlich ist auch das Steinbeis-Forschungszentrum (Dr. Heisig) über einen Unterauftrag eingebunden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP1: Leitung des Vorhabens

AP2: Detailplanung und Entwicklung der Benutzeroberfläche

AP3: Testrechnungen

AS 4: Erstellung eines gemeinsamen Abschlussberichtes, Fortschreibung der Anwenderhandbücher und der Testfallsammlungen

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

Es ist die Aufgabe der Projektleitung mit den Mitgliedern des Verbundprojektes einen Kooperationsvertrag, der das Zusammenarbeiten regelt, abzuschließen. Dieser Vertrag ist formuliert und befindet sich zurzeit zur Abstimmung bei den Universitätsverwaltungen.

Weiterhin wurde die Vergabe des Unterauftrags an das Steinbeis-Transferzentrum „Technische Simulation“ vorbereitet.

Es wurde begonnen, für die Detailplanung und die Entwicklung der Benutzeroberfläche die Anforderungen an die Erweiterung der Rechenprogramme festzulegen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

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

Keine



## **2.2 C-Vorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0922</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verschlussystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2002 bis 28.02.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.226.844,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Nüesch	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Geotechnische Barrieren (Schacht-, Strecken- und Bohrlochverschlüsse) in UTD sind als nachweislich langzeitstabile Verschlussbauwerke auszubilden. Vorhabensziel ist das Design, der konstruktive Entwurf und der Bau eines Verschlussystems, das mittels Äquipotenzialsegmenten eine homogene Durchfeuchtung des dichtenden Bentonitkerns gewährleistet.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Konzeption des Verschlussystems, Versuchsplanung, Grundlagenermittlung
- AP2: Durchführung und Bewertung eines Laborversuches
- AP3: Modellierung der Vorgänge im Verschluss
- AP4: Halbtechnischer Versuch, Durchführung und Bewertung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP2: Materialuntersuchung im ÄS und DS, Messtechnik

**Probennahme und Probenvorbereitung** Beim Rückbau wurde das Material beprobt (Wassergehalt). Der geotechnische Wassergehalt nimmt nach oben ab. **Salzverteilung** Die Salzverteilung wurde durch Leitfähigkeitsmessungen an dispergierten Teilproben bestimmt. Alle Analysen wurden in Doppelbestimmung durchgeführt. Die Abweichungen beider Methoden sind <10 %. Nach der Wassergehaltsverteilung und den TDR-Messungen ist die Salzlauge bis in die Ebene 3 vorge drungen, was durch die Leitfähigkeitsmessungen sowie die Chloridbestimmung bestätigt wurde. Deutlich ist jedoch der geringere Salzgehalt im Bentonit. Die Lagen der Sandlinsen sind zu erkennen. **Umwandlung des Ca-reichen Bentonits in die Na-Form im DS** Um den Umwandlungsgrad des Bentonites zu bestimmen, wurden die Basisreflexe des Montmorillonits mittels Röntgenbeugung beobachtet. Die Proben aus Ebene 2 rehydratisieren vollständig und zeigen den typischen Basisabstand von 14,8 Å für Ca-reichen Montmorillonit. Bei den Proben der Ebene 20 wurde zunächst ein Basisabstand typisch für die Na-Belegung von 12,5 Å beobachtet. **Sonstige Untersuchungen** Neben den mineralogischen Untersuchungen an den Proben läuft die Charakterisierung der Rohmaterialien für die Technischen Mischungen, die im ÄS eingebaut werden sollen, weiter (quantitativer Phasenbestände XRD/Rietveld, Wasseraufnahme nach Enslin-Neff). **Steigversuche** Es wurden bekannte und neue Mischproben getestet und auch Steigversuche mit Salzwasser erfolgreich beendet. Verglichen wurde auch konfektioniertes und „neues“ Material

hinsichtlich Unterschiede im Steigverhalten. Die Steighöhen der neuen Mischung sind bei destilliertem Wasser deutlich verhaltener. Im Gegensatz dazu wurden beim Salzwasser umgekehrte Eigenschaften festgestellt. Eine Verbesserung durch weitere Vorkonfektionierungsmethoden wird derzeit getestet, auch hinsichtlich späterer Methoden für den technischen Einbau. **Variogramm** Eine Versuchsserie als Variogramm soll die Streuung der Steigversuche durch Inhomogenität der Mischung, Sortierung beim Befüllen und sonstige Einflüsse bilanzieren. 5 Steigrohre wurden mit einer neuen Charge der Mischung M33 (nun M51) befüllt. Dieser Versuch ist sehr homogen in Bezug auf Steighöhen, Steiggeschwindigkeit und Wasserverbrauch verlaufen. **Kalk-Kaolin Ratio** Grundsätzlich hatte sich gezeigt, dass kalkhaltige Materialien schnell auf Wasser reagieren und große Steighöhen schnell erreichen. Dies ist nicht nur mit der Körnungsverteilung oder Porengrößenverteilung allein zu belegen. Daher wurde zur Stützung der Vermutung der Kalkgehalt zum Kaolinanteil variiert. Dieser Versuch läuft seit Ende Juni 2006 und deutlich wird jetzt schon der „Vorsprung“ kalkreicher Proben.

#### AP3: Numerische Modellierung

Auf Grundlage der bei der letzten Besprechung präsentierten Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtungen wird die weitere Vorgehensweise und die 3. Phase des Beitrags aus Weimar derzeit konzipiert.

#### AP4: Versuche im halbtechnischen Maßstab

Der Einbau der Materialien an der TU-Bergakademie Freiberg erfolgte bei dem zweiten Halbtechnik-Versuch als Streckenversuch mit waagrechter Position des Druckbehälters. In die beiden ersten Dichtsegmente wurden Störungen (Sandlinsen) eingebaut, um präferenzielle Durchbrüche zu provozieren (Test der Funktion der ÄS). 12 TDR-Sensorkabel zeichnen das Fortschreiten der Feuchtefront und die Verhältnisse in den ÄS auf. Sieben Druckaufnehmer zeigen das Quellen der Dichtsegmente und die Verdichtung der einzelnen Schichten. Die Zufuhr der Salzlauge erfolgt von unten in die Schotterschicht. Der Versuch soll solange fortgeführt werden, bis die Feuchte an Sensor S7 angekommen ist.

Insgesamt zeigt sich die volle Funktionalität des Aufbaus: in den ÄS breitet sich die Lösung, die über Störungszonen in den DS vordringt, über die Fläche aus und benetzt das DS von hinten her. Das ÄS erfüllt seine Aufgabe. Es bricht die voreilende Feuchtefront und verteilt die Feuchte vertikal. Damit kann das „durchgeschlagene“ DS von hinten her benetzt seinen Quelldruck aufbauen und sich so nachdichten. Das folgende DS wird flächig und gleichmäßig benetzt und kann so seine volle Wirkung entfalten. Die Sensorik beschreibt die beobachteten Effekte, insbesondere das Vorlaufen der Feuchtefront bei den Fehlstellen und der Ausgleich in den ÄS. Aus der Sensorauswertung wird belegt, dass der Firstbereich dicht bleibt.

## **4. Geplante Weiterarbeiten**

Der zweite Versuch im halbtechnischen Maßstab (Streckenverschluss) wurde im Juni 2006 gestartet. Der Druck wird in Stufen weiter bis 90 bar erhöht. Die Steigversuche mit Salzlösung, ebenso die Versuche mit den geschichteten ÄS sind abgeschlossen und werden analysiert. Weiter wird die Salzverlagerung im DS und ÄS quantifiziert. Die kapillaren Eigenschaften der Artmixe sollen über die Kenntnis der Kontaktwinkel verifiziert werden.

## **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Der Projektstand wurde am 18. Dezember 2006 per Vermerk mitgeteilt. Auf der Homepage ([www.untertageverschluss.de](http://www.untertageverschluss.de)) ist ein ausführlicherer Sachstandsbericht dazu eingestellt. Anlässlich des Workshops der Forschergruppe Feuchtemesstechnik – SMG der Universität Karlsruhe im Oktober 2006 wurde das Projekt in Poster und Vortrag vorgestellt.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0932</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2003 bis 30.09.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 30.09.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 420.997,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Mansel	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Geochemische Rückhaltebarrieren, insbesondere Deposite reaktiver Kohlenstoffverbindungen, können gegenüber Schwermetallen als Senke fungieren und bei geeigneten konstanten geochemischen Parametern (Eh, I, pH) langfristig stabil sein. Es soll die Bildung, Reaktivität und Stabilität von Depositen solcher Kohlenstoffverbindungen auf geogenen Matrices und die damit verbundenen Stoffumsätze, insbesondere mit toxischen Schwermetallen, untersucht werden. Dazu wird die Ausbildung von Oberflächendepositen und deren Einfluss auf die Schwermetalladsorption in Abhängigkeit von geochemischen Parametern unter naturnahen Bedingungen untersucht. Der molekulare Bezug natürlicher geochemischer Rückhaltebarrieren wird durch die Realisierung von radioaktiven Mehrfachmarkierungen (Schwermetalle und Organika) gefunden. Die wesentlichen Ergebnisse des Vorhabens werden aus innovativen Bewertungskonzepten und -maßnahmen bestehen, die in konkreten Anwendungsfällen in die Kalkulation der Kosten und der Umweltverträglichkeit des Entsorgungskonzeptes einfließen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Extraktion, Charakterisierung und Markierung von reaktiven Kohlenstoffverbindungen
- Synthese von Radioisotopen und Entwicklung von radiochemischen Trennmethode für die Ultrapurenanalytik im geochemisch relevanten Flüssig-Fest-Phasensystem
- Sorptionsstudien von chemotoxischen Schwermetallen an Geomatrices unter naturnahen Bedingungen im Nichtgleichgewichts- und Gleichgewichtszustand mittels Radioisotopen
- Verteilungsmessungen von chemotoxischen Schwermetallspezies geogener und anthropogener Kohlenstoffverbindungen an Geomatrices
- Komplexstudien von chemotoxischen Schwermetallen mit anorganischen und organischen Komplexbildnern unter Verwendung von Radioisotopen und naturnahen Bedingungen
- Speziation von chemotoxischen Schwermetallen im System Schwermetall / Komplexbildner / Geomatrices mit der Methode der radioaktiven Mehrfachmarkierung
- Abschließende Auswertung, Dokumentation und Schlussberichterstellung.



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- $^{14}\text{C}$ -Radiomarkierung von natürlichen Huminsäuren
- pH-abhängige Säulenexperimente mit [ $^{14}\text{C}$ ]Huminsäure und Sand bei Abwesenheit von Schwermetallen
- Säulenexperimente mit [ $^{14}\text{C}$ ]Huminsäure, [ $^{65}\text{Zn}$ ]Zn $^{2+}$  und Sand
- Dokumentation / Abschlussbericht.

Die für die Säulenversuche notwendigen  $^{14}\text{C}$ -markierten, natürlichen Huminsäuren wurden laufend mit reproduzierbaren Ausbeuten ( $\sim 70\%$ ) frisch präpariert. Im binären, dynamischen System (Säulenversuche) wurde mit [ $^{14}\text{C}$ ]Huminsäure (50 mg/l Aldrich) das Durchbruchverhalten an einer Sandsäule (Länge 12,5 cm; Durchmesser 16 mm; geometrisches Porenvolumen 10,8 ml; Fluss 400  $\mu\text{l}/\text{min}$ ) bei pH 5, 6, 7, 8 und 9 und einer Ionenstärke von 0,1 mol/l untersucht. Dabei wurden vor und nach der Säule online der pH-Wert, die UV-Absorption und die Leitfähigkeit bestimmt. Das Radioaktivitätssignal der Durchbruchkurve / Retention wurde offline durch Fraktionssammlung und LSC gemessen. UV- und LSC-Verlauf zeigen ein paralleles Verhalten. Die Wiedererhalte betragen 3, 5, 9, 30 und 56 % für pH 5, 6, 7, 8 und 9. Der [ $^{14}\text{C}$ ]Huminsäure-Durchbruch erfolgte bei  $V/V_0 = 1,3$  für alle pH-Werte. Die Durchbruchkurven mussten bis zu einem  $V/V_0$ -Verhältnis von  $\sim 11$  durchgeführt werden, bis mittels LSC kein  $^{14}\text{C}$  nachweisbar war. Zur Radioaktivitätsbilanzierung wurde die Sandsäule nach der Aufnahme der Durchbruchkurve mit 0,001 M NaOH gespült. Die Vorkonditionierung der Säule (pH- und Leitfähigkeitskonstanz), das Experiment und das Eluieren der sorbierten [ $^{14}\text{C}$ ]Huminsäure nahmen ca. 4 Tage pro Experiment in Anspruch. Es wurden Säulenversuche an Sand mit der Methode der radioaktiven Doppelmarkierung durchgeführt ( $^{65}\text{Zn}$  /  $^{14}\text{C}$ -Huminsäure). Die komplexen LSC-Spektren (Überlagerung von Röntgen- und Betaereignissen, Farbquench) befinden sich noch in der Auswertung. Zurzeit wird der Abschlussbericht erstellt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Dokumentation / Abschlussbericht.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

M. A. Kim, P. J. Panak, D. C. Breban, A. Priemyshev, J. I. Yun, A. Mansel, J. I. Kim: „Interaction of actinides(III) with aluminosilicate colloids Part IV. Influence of Humic Acid.” Colloids Surf. A, in press (2007).

A. Mansel, H. Kupsch: „Radiolabelling of Humic Substances with  $^{14}\text{C}$ .” Appl. Radiat. Isot., submitted in revised form (2007).

A. Mansel: „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer.“, Actinidenverbund, Dresden, 04.-05.11.2006.

H. Lippold: „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer.“, Actinidenverbund, Dresden, 04.-05.11.2006.

H. Lippold, N. D. M. Evans, P. Warwick, H. Kupsch: „Competitive effect of iron(III) on metal complexation by humic substances: Characterisation of ageing processes.” Chemosphere, in press (2007).

A. Mansel, D. Röbller, 10<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Radiochemical Analysis – ERA, Oxford/UK, 13.-15.09.2006.

A. Mansel, H. Kupsch: „Interaction between [ $^{65}\text{Zn}$ ]Zinc(II) and Humic Substances in the Absence and Presence of Kaolinit under Conditions near to Nature.” 13th Meeting of the IHSS, Karlsruhe, 30.07.-04.08.2006.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0952</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2002 bis 31.03.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 900.398,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Pusch	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für die Standortbewertung von unterirdischen Deponien zur Einlagerung von Abfällen sind sicherheitstechnische Untersuchungen und Modellrechnungen zur Schadstoffausbreitung ein wesentlicher Bestandteil der Analysen. Durch Laboruntersuchungen und In-situ-Messungen sollen belastbare Grundlagen über das mechanische und hydraulische Stoffverhalten des Salzes gegenüber einer Gasphase und über die Prozessformen, die dieses Verhalten steuern erarbeitet werden.

Im experimentellen Programm werden laborative Messungen der Gaspermeation an ungestörten Salzkernen und Untersuchungen der Kapillar- und Gassperrdrücke an Salzpresslingen und Sandsteinreferenzmaterial zur Korrelation der Prozessabläufe mit dilatant aufgelockerten Salzkernen in Anwesenheit einer Restlauge durchgeführt werden. In-situ-Gasinfiltation- und Gasfrac-Versuche zur Bestimmung des Druckaufbaus (Sperr- bzw. Fracdruck und Messungen des Gastransports bei gleichzeitiger räumlicher Lokalisierung des gebildeten Rissystems durch Schallemissions- und Durchschallungsmessungen bilden das Feldexperimentprogramm. Die aus den Untersuchungen abgeleiteten Ergebnisse sollen eine sichere Basis für die Prozess-Simulation der Gasausbreitung aus einem unterirdischen Grubenbau in das Wirtsgestein bilden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben umfasst folgende Arbeitspunkte:

- AP1.1 Kapillar- und Gassperrdruckmessungen
  - 1.2 Gaspermeationstests
  - 1.3 Triaxuntersuchungen
  - 1.4 Gasfrac-Untersuchungen
- AP2.1 Gasinfiltationstests in der Grube Bernburg
  - 2.2 Gasfrac-Versuche in der Grube Bernburg
  - 2.3 Akustische Messungen
- AP3.1 Modellierung der Permeationstests
  - 3.2 Modellierung des gesteinsmechanischen und pneumatischen Zustandes
- AP4 Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Weiterführung der Langzeittriaxial-Versuche mit speziellem Focus auf der Bestimmung eines schädigungsabhängigen Biot-Parameters
- Triaxialversuche unter Verwendung von Hexan als strömenden, benetzenden und nicht reaktiven Medium als Vergleichsmessungen
- Gasdruckerhöhung in Stufen im in-situ Versuch Bernburg mit anschließendem Frac bei 14 MPa Gasdruck, Bestimmung der Permeabilität aus dem Abströmverhalten
- Refracversuch durch Erhöhung des Gasdruckes auf 12 MPa beim In-situ-Langzeitdrucktest in der Grube Bernburg
- Fortführung der akustischen Emissionsmessungen in der Grube Bernburg

Bei den durchgeführten Laborexperimenten hat sich gezeigt, dass der Einfluss des Porendruckes auf das Permeationsverhalten von entscheidender Bedeutung ist. Es ist eine tendenzielle Abhängigkeit zwischen der Wirksamkeit des Porendruckes und der im Kern induzierten Schädigung zu erkennen. Daraus ist für Gas als Strömungsmedium ein schädigungsabhängiger Biot-Parameter entwickelt worden, der den Einfluss des Gasdruckes in Abhängigkeit von der dilatanten Schädigung beschreibt. Erste Messungen mit Hexan lassen darauf schließen, dass keine signifikanten Unterschiede bei dem Fluidtransport zwischen einem Gas und einer dem Salz gegenüber inerten Flüssigkeit bestehen.

Beim In-situ-Versuch in Bernburg ist es durch die stufenweise Erhöhung des Gasdruckes bis 14 MPa jeweils zu einem druckbedingten Anstieg der Abströmraten gekommen. Nach kurzer Standzeit bei 14 MPa Gasdruck hat ein diskontinuierliches Abströmen des Gases über die Formation stattgefunden, wobei sich der Gasdruck auf einem Druckniveau von ca. 10,5 MPa wieder stabilisiert hat, d. h. die ursprüngliche Dichte vor dem Gasdurchbruch hat sich zumindest teilweise wieder hergestellt. Der gemessene Gasaufreißdruck liegt mit 14 MPa deutlich über der mit Hydrofrac bestimmten Gebirgsspannung von 13 MPa, ohne dass es während des Gasdurchbruches Hinweise auf einen singulären Riss im Sinne eines Gasfracszenario, z. B. durch eine erhöhte mikro-seismische Aktivität, gegeben hat. Diese pneumatische Zugfestigkeit wird im Labor nicht beobachtet und die Effekte der Permeabilitätszunahme sind mit kleiner 4 vier Dekaden deutlich geringer als nach dem Ergebnis der Laboruntersuchungen zu erwarten wäre. Als Mechanismus für das aufgetretene Ereignis wird eine integrale Permeation infolge druckinduzierter Aufweitung vorhandener Fließwege in Richtung geologischer Inhomogenitäten angesehen. Die Ausdehnung der gasdruckbeeinflussten Zone beim Gasdurchbruch liegt infolge des begrenzten Gasvolumens der Untersuchungsbohrung im Meterbereich, wobei die bisher zur Berechnung der integralen Permeabilität verwendeten rotationsymmetrischen Transportmodelle die realen Abströmverhältnisse mit inhomogener Gasausbreitung unzureichend beschreiben.

Nach der Entspannung des Bohrloches auf 1 MPa, wurde kein Rückströmen von Gas beobachtet. Bei der erneuten stufenweisen Gasdruckbelastung sind die gemessenen Abströmraten geringer als im 1. Zyklus, mutmaßlich als Folge der bereits im Gebirge vorliegenden Gasdruckbelastung.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden programmgemäß weitergeführt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0973</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2003 bis 31.01.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 383.970,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Herbert	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es werden anwendbare Strategien entwickelt, die bei untertägigen Abfalldeponierungen eine erhebliche Verringerung einer durch Einwirkung von Wässern verursachten Schadstofffreisetzung bewirken. Die Arbeiten konzentrieren sich dabei auf die Schwermetalle Cd, Pb und Zn. Die experimentellen Untersuchungen berücksichtigen die UTD-relevanten Bedingungen, wobei erstmals auch langsam ablaufende Prozesse gezielt studiert werden. Geochemische Modellrechnungen werden als Prognosetool eingesetzt, um Strategien zur Minimierung der Quellterme zu entwickeln, die im Normalfall in der Beeinflussung des geochemischen Milieus durch Zugabe von geeigneten Stoffen bestehen. Die Wirksamkeit der Strategien wird anhand erneuter Auslaugversuche überprüft.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelle Untersuchungen zur Schadstoffmobilisierung unter Normalbedingungen mit Hilfe von Batch-Versuchen und geeigneten Langzeittests sowie geochemische Modellrechnungen zur Entwicklung der Lösungsentwicklung bis hin zu UTD-relevanten Feststoff/Lösungsverhältnissen.
- AP2: Entwicklung von Strategien zur Minimierung des Quellterms für die Schadstoffe und systematische Bewertung der verschiedenen Möglichkeiten auf der Basis von geochemischen Modellrechnungen.
- AP3: Experimentelle Überprüfung der verringerten Schadstoffmobilisierung und Bewertung der Effizienz der Minimierungsstrategien.

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

Im Berichtszeitraum wurden die experimentellen Arbeiten abgeschlossen. Schwerpunkt waren die Experimente zu AP3. Dazu wurden zwei Arten von Versuchen durchgeführt. In einer Versuchsserie wurde der Einfluss steigender pH-Werte auf die Freisetzung von Pb Zn und Cd in den Reaktionen der Flugaschen CA 539 und CA528 mit IP21 Lösung untersucht. Dabei wurde das Feststoff/Lösungs-Verhältnis gleichgehalten (bei 1:2,2) und der pH-Wert in zwei Stufen durch Zugabe von NaOH von 6,5 auf 9 und 11,5 erhöht. Als Ergebnis zeigte sich eine signifikante Abnahme der freigesetzten Schwermetallkonzentration in Lösung. In beiden betrachteten Reaktionen war die Reduzierung der Zn-Freisetzung am größten. Die Pb- und Cd-Freisetzung aus Abfall CA 528 reduzierte sich um den Faktor 3 und aus CA 539 um zwei Zehnerpotenzen.

Als nächster Schritt in Richtung der Umsetzung der Ergebnisse in eine realitätsnahe Vorgehensweise, wurde die pH-Wert-Erhöhung nicht mehr künstlich durch die Zugabe einer Chemikalie erreicht, sondern durch die Mischung zweier Abfallstoffe (der Flugaschen CA528 und CA400) mit unterschiedlichen natürlichen Anteilen von CaO. Auf diese Weise konnte der pH-Wert von 6,5 auf 8,2 erhöht werden. Die erwartete Abnahme der Schadstofffreisetzung in Lösung wurde auch hier beobachtet. Auch die in der ersten Versuchsreihe beobachteten Trends haben sich bestätigt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Abschluss und Auswertung der letzten Versuche. Durchführung von geochemischen Modellrechnungen. Fertigstellung des Abschlussberichtes.

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0983</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2003 bis 31.03.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 682.290,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Hagemann	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In Ergänzung und Fortführung abgeschlossener FuE-Vorhaben Erstellung einer konsistenten thermodynamische Datenbasis zur Modellierung umweltrelevanter geochemisch-aquatischer Prozesse der Elemente Quecksilber, Arsen, Kupfer, Chrom, Nickel, Mangan und Kobalt. Grundlage sind eine kritische Literaturlauswertungen und ergänzende experimentelle Untersuchungen.

Zugänglichmachung der Datenbasis durch Publikation in Fachzeitschriften durch Bereitstellung über das Internet. Entwicklung einer interaktiven Datenbankstruktur, die die Erzeugung und Anwendung qualitätsgesicherter, konsistenter und ausreichend dokumentierter und anwendungsprogrammspezifischer Parametersätze erlaubt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Vervollständigung der Parametersätze für Kupfer(II), Nickel(II), Chrom(III) und Chrom(VI)

- Erstellung einer thermodynamischen Datenbasis für Kobalt(II), Mangan(II) und Kupfer(I)
- Erstellung einer thermodynamischen Datenbasis Arsen(III) und Arsen(V)
- Physikalisch-chemische Eigenschaften von Quecksilber(II) in salinaren Lösungen
- Dokumentation und Publikation der Datenbasis, internetbasierter Zugriff

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Titration von arsenithaltigen Lösungen wurde fortgesetzt. Mit Hilfe eines neu entwickelten Verfahrens lassen sich die erforderlichen Messdaten wesentlich schneller gewinnen als zuvor. Hierbei wird im Gegensatz zu bislang üblichen Verfahren nicht der Salzgehalt konstant gehalten und der pH-Wert variiert (pH-Titration), sondern die Konzentration der Arsenispezies konstant gehalten und der Hintergrundsatzgehalt variiert.

Zur Vervollständigung der Datenbasis für Kuper(I) wurden Löslichkeitsversuche in den Systemen  $\text{MgCl}_2\text{-CuCl-H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCl}_2\text{-CuCl-H}_2\text{O}$  und  $\text{KCl-CuCl-H}_2\text{O}$  durchgeführt. In Übereinstimmung mit den meist spärlichen Literaturdaten wurde in keinem Fall eine Bildung von Doppelsalzen beobachtet. Die Systeme werden stark durch die Bildung von Kupfer(I)chlorokomplexen beherrscht. Die Löslichkeit von Kupfer steigt dementsprechend stark an. In salinaren Lösungen bedeutet dies, dass Kuper(I) gegenüber Kupfer(II) immer stabiler wird.

Die isopiesticen Versuche an quecksilber(II)chloridhaltigen Lösungen wurden abgeschlossen. Sie dienten zur Ergänzung der bereits früher gewonnenen Daten, brachten aber keine grundlegend neuen Erkenntnisse.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im kommenden Berichtszeitraum wird die Titration arsenithaltiger Lösungen fortgesetzt und abgeschlossen. In Kombination mit den parallel durchgeführten isopiesticen Messungen an arsenathaltigen Lösungen wird hieraus ein Parametersatz für Arsen (III) und Arsen (V) entwickelt.

Vorgesehen ist außerdem die Erstellung konsistenter Parametersätze für Nickel, Cobalt und Mangan auf der Grundlage der vorliegenden Literatur- und Messdaten.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0993</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und alumosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C bis 90° C		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2003 bis 31.03.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 580.968,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Meyer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des Vorhabens ist die Erweiterung der Datenbasis für die Modellierung des geochemischen Milieus von Si- und Al-haltigen Materialien in salinaren Lösungen in einem Temperaturbereich von 30° C bis 90° C.

Es werden Parametersätze für die geochemische Modellierung durch Datenauswertung von Löslichkeits- und Titrationsmessungen entwickelt, um die Eigenschaften von Al- bzw. Si-Spezies in salinaren Lösungen bei 30° C bis 90° C voraussagen zu können. Die Leistungsfähigkeit der Parametersätze wird durch geochemische Modellierung von Auflösungsreaktionen ausgewählter Silikat- und Aluminatphasen überprüft.

Die eingesetzten experimentellen Methoden sind z. T. bereits überprüft worden und finden für die Entwicklung neuer Parametersätze Anwendung. Die geochemische Modellierung erfolgt mit EQ3/6, einem ebenfalls anerkannten Rechenprogramm zur thermodynamischen Gleichgewichtsmodellierung.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Literaturrecherche

AP2: Physikalisch-chemische Eigenschaften Si/Al-haltiger Lösungen

AP3: Löslichkeit einfacher Silikate und Aluminate

AP4: Parameterberechnung



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Mit der Bestimmung der Löslichkeiten von amorpher Kieselsäure bei einer Temperatur von 65° C in Lösungen der Salze des ozeanischen Systems wurde begonnen. Die z. Zt. untersuchten Systeme sind:

- NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O-H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>
- KCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>
- NaCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>

Löslichkeitsuntersuchungen ausgewählter (Alumo-)silikate mussten aufgrund von Wasserverlusten abgebrochen werden und wurden für einen weiteren Versuchszeitraum neu angesetzt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1 ist zunächst abgeschlossen, eine Darstellung der Ergebnisse erfolgt im Abschlussbericht.

AP2 In dem kommenden Zeitraum sollen die Arbeiten bezüglich der Löslichkeit amorpher Kieselsäure bei höheren Temperaturen (bis 90° C) in ternären Lösungen der Salze des ozeanischen Systems weiter bearbeitet werden.

Für die Versuche bei 90° C werden Löslichkeitsversuche von Gibbsit, Al(OH)<sub>3</sub>, im pH-Bereich >9 in den Systemen NaCl-H<sub>2</sub>O, KCl-H<sub>2</sub>O, CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O und K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O durchgeführt werden.

AP3 An einigen ausgewählten Silikaten, Aluminaten und Alumosilikaten wurden Löslichkeitsmessungen in verschiedenen Salzlösungen bei unterschiedlichen Temperaturen (bis 90° C) durchgeführt. Bei der Auswertung der Versuche zeigte es sich, dass es zu Wasserverlusten gekommen ist, es wurden hier neue Versuche angesetzt.

AP4 Aus den neuen, experimentell ermittelten Daten sowie aus Literaturdaten werden Pitzerkoeffizienten für die oben genannten Si- und Al-Spezies im Temperaturbereich 30° C - 90° C berechnet. Alle gesammelten oder neu bestimmten Rohdaten sowie die daraus abgeleiteten Parameter für die geochemischen Modellrechnungen werden dokumentiert und zusätzlich in elektronischer Form zur Verfügung gestellt.

Da es in der vergangenen Periode nicht zu einer erfolgreichen Vergabe des Unterauftrages bezüglich NMR-Messungen zur Speziesverteilung von Si in Lösung gekommen ist und es auch mit Hilfe dieser Methode nicht zu zufrieden stellenden Ergebnissen kommen wird, sollen im folgenden Zeitraum eigene Untersuchungen mit Hilfe der Molybdatmethode erfolgen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Dr. Andreas Hampel, Am Fasanenweg 4, 55270 Essenheim		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1004</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 1		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 30.11.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 30.11.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 201.296,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Hampel	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und unterschiedlichen experimentellen Daten. In diesem Verbundvorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um mit Hilfe von Modellrechnungen die vorhandenen Stoffgesetze und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Es sollen die Phänomene Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung berücksichtigt werden. Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirtschafts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten
- AP3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil 1)
- AP4: Durchführung von Interim-Workshops und weiteren Treffen mit den Projektpartnern
- AP5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten
- AP6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil 2)
- AP7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner
- AP8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse
- AP9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze und Verfahrensweisen
- AP10: Ergebnis-Workshop
- AP11: Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Zuwendungsempfänger beteiligte sich im Teilvorhaben 1 mit dem Composite-Dilatanz-Modell (CDM) an dem Stoffgesetzvergleich. Er verwendete zur Parameterbestimmung und für die semianalytischen Nachrechnungen von Laborversuchen das Programm Mathcad der Fa. MathSoft sowie für die 2D-Modellrechnungen zu einer ausbauchenden Zylinderprobe und zu zwei Untertagestrukturen das Finite-Differenzen-Programm FLAC der Fa. Itasca.

Im Berichtszeitraum stellte der Zuwendungsempfänger seinen ausführlichen Einzelbericht fertig (AP7), in dem das CDM-Stoffgesetz, das Verfahren der Kennwertbestimmungen für die Stoffgesetzparameter sowie die im Teilvorhaben erzielten Ergebnisse der Benchmark-Modellrechnungen detailliert dargestellt werden.

Außerdem bereitete er zum Vergleich der Modellierungsergebnisse aller sechs Projektpartner (AP8) die Ergebnisdaten der Partner auf und erstellte zahlreiche Diagramme. Sie dienten als Basis für die gemeinsamen Diskussionen auf den Workshops, für die Präsentationen auf der öffentlichen Abschlussveranstaltung sowie für die vergleichende Zusammenstellung im Synthesebericht. Der Zuwendungsempfänger beteiligte sich ferner an der Vorbereitung und Durchführung dieser Projekt-Workshops am 14.09. und 24.10.2006 (AP4) und der öffentlichen Abschlussveranstaltung am 08. November 2006 in der BGR Hannover (AP10).

Schließlich begann er mit der Erstellung des Syntheseberichts über die vergleichende Zusammenstellung der Stoffgesetze, der Verfahren zur Parameterbestimmung und der Ergebnisse der Benchmark-Rechnungen aller Projektpartner (AP11). Dieser wird auch Empfehlungen für die Nutzung der Vorhabensergebnisse und die Anwendung der Stoffgesetze enthalten (AP9).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Laufzeit dieses Vorhabens endete am 30.11.2006.

Die Ergebnisse werden außer im Abschlussbericht auch auf der 6<sup>th</sup> Conference on the Mechanical Behavior of Salt (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) in mehreren Vorträgen präsentiert und in den zugehörigen Veröffentlichungen dokumentiert werden (AP11).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- A. Hampel, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche, A. Pudewills, R. Günther, W. Minkley, K. Salzer, Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr & D. Zapf (2006): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. – Wissenschaftliche Berichte, FZKA-PTE Nr. 9: Untertägige Entsorgung – Siebtes Statusgespräch zu FuE-Vorhaben auf dem Gebiet der Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen am 03. und 04. Mai 2006 in Karlsruhe, Forschungszentrum Karlsruhe.
- O. Schulze, U. Heemann, F. Zetsche, A. Hampel, R. Günther, W. Minkley, K. Salzer, A. Pudewills, R. Rokahr, D. Zapf, Z. Hou, R. Wolters & U. Düsterloh (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, I. Modeling of deformation processes and benchmark calculations. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.
- Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr, D. Zapf, K. Salzer, R.-M. Günther, W. Minkley, A. Pudewills, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche & A. Hampel (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, II. Numerical modeling of two in situ case studies and comparison. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1014</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 2		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 30.11.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 30.11.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 115.855,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Schulze	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und unterschiedlichen experimentellen Daten. In diesem Vorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um mit Hilfe von Modellrechnungen die vorhandenen Stoffgesetze und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Es sollen die Phänomene Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung berücksichtigt werden. Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten
- AP3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil 1)
- AP4: Durchführung von Interim-Workshops und weiteren Treffen mit den Projektpartnern
- AP5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten
- AP6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil 2)
- AP7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner
- AP8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse
- AP9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze und Verfahrensweisen
- AP10: Ergebnis-Workshop
- AP11: Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) verwendet für die Arbeiten im TV2 das Composite-Dilatanz-Modell (CDM). Dieses Modell ist im FEM-Programm JIFE implementiert und wurde für die Modellberechnungen verwendet. Bei der Modellierung des vorgegebenen Kammerpfeiler-Modells, bei dem erhebliche Dilatanz sowie Schädigung und Nachbruch auftreten, ergaben sich trotz weiterer Verfeinerung der Zeitschritte numerische Probleme, die immer wieder zum Abbruch einer bis dahin plausiblen Berechnung führten.

Zur Beseitigung der numerischen Instabilität ist die klassische Vorgehensweise, nichtlineare Probleme zu lösen, durch das Verfahren "konsistente Matrix" ersetzt worden. Die Berechnungen mit dem alten Verfahren hatten bei sehr kleinen bzw. einfachen Modellen zwar vertrauenswürdige Ergebnisse geliefert, bei den aufwendigeren Kammerpfeilermodellen ließ sich auch trotz Verfeinerung der Zeitschritte wegen sehr vieler Freiheitsgrade und wegen Material-Versagens mit dem implementierten CDM keine stabile Lösung für den gesamten Modellzeitraum erreichen. Mit dem neuen Verfahren können unter vereinfachten Bedingungen (nur Kriechen mit Dehnungsverfestigung) nach wenigen Zeitschritten hervorragende und stabile Ergebnisse erzielt werden. Die Berücksichtigung auch volumetrischer Dehnungsanteile (Dilatanz und Schädigung bis zum Versagen) hat sich als programmtechnisch wesentlich komplizierter erwiesen, so dass für den neuen Ansatz noch keine voll lauffähige Version des Algorithmus für das CDM-Modell erreicht wurde. Die Arbeiten dazu werden weiter fortgeführt.

BGR hat mit Unterstützung des Projektträgers und der Projektpartner am 08.11.06 die Abschlussveranstaltung durchgeführt. Für die mehr als 60 Teilnehmer wurden die Präsentationen zusammengestellt und bereits verfügbar gemacht.

BGR erarbeitet abschließend den Einzelbericht (AP7) sowie gemeinsam mit Dr. A. Hampel an der Erstellung des Syntheseberichts mit der vergleichenden Zusammenstellung der Stoffgesetze, der Verfahren zur Parameterbestimmung und der Einzel-Ergebnisse aus den Benchmark-Rechnungen aller Projektpartner (AP11). Dieser Bericht wird auch Empfehlungen für die Nutzung der Ergebnisse und die Anwendung der Stoffgesetze (AP9) umfassen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Laufzeit dieses Vorhabens endete am 30.11.2006.

Die Resultate werden im Abschlussbericht und auf der 6<sup>th</sup> Conf. on the Mech. Behavior of Salt (22.-25.05.07, BGR-Hannover) in mehreren Vorträgen präsentiert und veröffentlicht (AP11).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Hampel, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche, A. Pudewills, R.-M. Günther, W. Minkley, K. Salzer, Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr & D. Zapf (2006): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen.- Wissenschaftliche Berichte, FZKA-PTE Nr. 9: Untertägige Entsorgung – Siebtes Statusgespräch zu FuE-Vorhaben auf dem Gebiet der Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen am 03. und 04. Mai 2006 in Karlsruhe, Forschungszentrum Karlsruhe.
- O. Schulze et al. (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, I. Modeling of deformation processes and benchmark calculations.- Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Proc. of the 6th Conf. on the Mech. Behavior of Salt, Hannover. A.A. Balkema Publ., Lisse.
- Z. Hou et al. (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, II. Numerical modeling of two in situ case studies and comparison.- Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Proc. of the 6th Conf. on the Mech. Behavior of Salt, Hannover. A.A. Balkema Publ., Lisse.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1024</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 3		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>  01.04.2004 bis 30.11.2006	<b>Berichtszeitraum:</b>  01.07.2006 bis 30.11.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b>  121.177,00 EUR	<b>Projektleiter:</b>  Dr. Salzer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und experimentellen Daten. In diesem Vorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um die vorhandenen Stoffgesetze mit Hilfe von Modellrechnungen und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Folgende Phänomene sollen Berücksichtigt werden: Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung.

Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Auch für die weitere Stoffgesetzentwicklung sollen sich Hinweise ergeben. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten.
- AP3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil I).
- AP4: Durchführung mehrerer Interim-Workshops und weiterer Treffen mit den Projektpartner.
- AP5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten.
- AP6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil II).
- AP7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner.
- AP8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse.
- AP9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze/Verfahrensweisen.
- AP10: Ergebnis-Workshop mit allen Projektpartnern.
- AP11: Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung).

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Das vorliegende Teilvorhaben 3 beteiligt sich mit dem visko-elasto-plastischen Stoffmodell nach MINKLEY und dem erweiterten Dehnungs-Verfestigungsansatz nach GÜNTHER/SALZER am Stoffgesetzvergleich. Im Berichtszeitraum hat das IfG die ausführlichen Einzelberichte für beide Stoffmodelle fertig gestellt (AP7), in dem die Stoffgesetze, die Verfahren der Kennwertbestimmung für die Stoffgesetzparameter sowie die im Teilvorhaben erzielten Ergebnisse der Benchmark-Modellrechnungen detailliert dargestellt werden. Außerdem hat sich das IfG an der Vorbereitung und Durchführung der Projekt-Workshops am 14.09. und 24.10.2006 (AP4) sowie an der öffentlichen Abschlussveranstaltung am 08. November 2006 in der BGR Hannover (AP10) u. a. durch entsprechende Vorträge aktiv beteiligt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Laufzeit dieses Vorhabens endete am 30.11.2006. Die Ergebnisse werden außer im Abschlussbericht auch auf der 6<sup>th</sup> Conference on the Mechanical Behavior of Salt (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) in mehreren Vorträgen präsentiert und in den zugehörigen Veröffentlichungen dokumentiert werden (AP11). In diesem Zusammenhang ist das IfG an der endgültigen Erstellung des Syntheseberichts mit der vergleichenden Zusammenstellung der Stoffgesetze, der Verfahren zur Parameterbestimmung und der Ergebnisse der Benchmark-Rechnungen aller Projektpartner (AP11) beteiligt. Dieser umfasst auch Empfehlungen für die Nutzung der Vorhabensergebnisse und die Anwendung der Stoffgesetze (AP9).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

R.-M. Günther, K. Salzer (2007): A model for rock salt, describing transient, stationary, and accelerated creep and dilatancy. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.

W. Minkley, J. Mühlbauer (2007): Constitutive models to describe the mechanical behaviour of salt rocks and the imbedded weakness planes. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.

O. Schulze, U. Heemann, F. Zetsche, A. Hampel, R.-M. Günther, W. Minkley, K. Salzer, A. Pudewills, R. Rokahr, D. Zapf, Z. Hou, R. Wolters & U. Düsterloh (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, I. Modeling of deformation processes and benchmark calculations. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.

Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr, D. Zapf, K. Salzer, R.-M. Günther, W. Minkley, A. Pudewills, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche & A. Hampel (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, II. Numerical modeling of two in situ case studies and comparison. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1034</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 30.11.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 30.11.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 60.178,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Hou	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und unterschiedlichen experimentellen Daten. In diesem Vorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um mit Hilfe von Modellrechnungen die vorhandenen Stoffgesetze und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Es sollen die Phänomene Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung berücksichtigt werden. Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten
- AP3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil 1)
- AP4: Durchführung von Interim-Workshops und weiteren Treffen mit den Projektpartnern
- AP5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten
- AP6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil 2)
- AP7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner
- AP8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse
- AP9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze und Verfahrensweisen
- AP10: Ergebnis-Workshop
- AP11: Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum stehen die Diskussionen über die erzielten Ergebnisse aller Partner und die Verfassung des Einzelberichts im Vordergrund (AP7). In dem Einzelbericht werden das Stoffmodell Hou/Lux, das Verfahren der Parameterbestimmung sowie die im Teilvorhaben erzielten Ergebnisse der Benchmark-Modellrechnungen detailliert dargestellt.

Über die Arbeitspakete des Verbundvorhabens hinaus ist das analytische Pfeilerdimensionierungsverfahren Hou/Lux zur Abschätzung der Standzeit des betrachteten Kammer-Pfeiler-Systems bei drei unterschiedlichen Pfeilerbelastungen sowie zum Vergleich mit den numerischen Verfahren herangezogen worden. Die Erzielten Ergebnisse sind intern an den Workshops und extern auf der Abschlussveranstaltung berichtet bzw. diskutiert worden.

Neben den genannten Arbeiten haben Mitarbeiter dieses Vorhabens (Dr. Hou und Dipl. Wolters) an zwei in der BGR Hannover am 14.09.06 und 24.10.06 (AP4) durchgeführten Workshops sowie an der öffentlichen Abschlussveranstaltung am 08.11.06 ebenfalls in der BGR Hannover (AP10) teilgenommen bzw. aktive an Diskussionen beteiligt. Auf der öffentlichen Abschlussveranstaltung haben Dr. Hou und Prof. Lux jeweils über „analytische Lösungen zu einer Kammer-Pfeiler-Struktur im Steinsalz“ und über „thermo-mechanisch-hydraulisch gekoppelte Analyse zum Tragverhalten von verschlossenen fluidgefüllten Hohlräumen im Salzgebirge“ vorgetragen.

Schließlich hat Dr. Hou den Entwurf eines auf der 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) zu veröffentlichenden Papers erstellt und allen Partnern als Diskussionsgrundlage zur Verfügung gestellt (AP11).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Laufzeit dieses Vorhabens endete am 30.11.2006.

Die Ergebnisse werden außer im Abschlussbericht auch auf der 6<sup>th</sup> Conference on the Mechanical Behavior of Salt (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) in mehreren Vorträgen präsentiert und in den zugehörigen Veröffentlichungen dokumentiert werden (AP11).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Hampel, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche, A. Pudewills, R. Günther, W. Minkley, K. Salzer, Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr & D. Zapf (2006): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. – Wissenschaftliche Berichte, FZKA-PTE Nr. 9: Untertägige Entsorgung – Siebtes Statusgespräch zu FuE-Vorhaben auf dem Gebiet der Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen am 03. und 04. Mai 2006 in Karlsruhe, Forschungszentrum Karlsruhe.
- O. Schulze, U. Heemann, F. Zetsche, A. Hampel, R. Günther, W. Minkley, K. Salzer, A. Pudewills, R. Rokahr, D. Zapf, Z. Hou, R. Wolters & U. Düsterloh (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, I. Modeling of deformation processes and benchmark calculations. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.
- Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr, D. Zapf, K. Salzer, R.-M. Günther, W. Minkley, A. Pudewills, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche & A. Hampel (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, II. Numerical modeling of two in situ case studies and comparison. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1044</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 30.11.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 30.11.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 70.878,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Rokahr	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und unterschiedlichen experimentellen Daten. In diesem Vorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um mit Hilfe von Modellrechnungen die vorhandenen Stoffgesetze und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Es sollen die Phänomene Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung berücksichtigt werden. Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten
- AP3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil 1)
- AP4: Durchführung von Interim-Workshops und weiteren Treffen mit den Projektpartnern
- AP5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten
- AP6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil 2)
- AP7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner
- AP8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse
- AP9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze und Verfahrensweisen
- AP10: Ergebnis-Workshop
- AP11: Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Zuwendungsempfänger hat sich im Teilvorhaben 5 mit dem Stoffmodell IUB-MDCF an dem Stoffgesetzvergleich beteiligt. Für die Parameterermittlung und für die Simulation von Laborversuchen wurde das Programm Mathcad der Firma MathSoft, zur Berechnung der ausbauchenden Zylinderproben und der zwei ausgewählten Untertagestrukturen wurde das vom Institut für Unterirdisches Bauen entwickelte Finite-Elemente-Programm UT2D verwendet. Im Berichtszeitraum konnte die Implementierung des Stoffgesetzes IUB-MDCF in das Programmsystem Flac3D nicht wie vorgesehen abgeschlossen werden, so dass einige Berechnungen im Rahmen des Arbeitspakets 6b noch nicht abgeschlossen werden konnten.

Der Zuwendungsempfänger hat im Berichtszeitraum seinen ausführlichen Einzelbericht fertiggestellt (AP7), in dem das IUB-MDCF Stoffgesetz, das Verfahren der Kennwertbestimmungen für die Stoffgesetzparameter sowie die im Teilvorhaben erzielten Ergebnisse der Benchmark-Modellrechnungen detailliert dargestellt werden.

Außerdem hat er zum Vergleich der Modellierungsergebnisse aller sechs Projektpartner (AP8) die eigenen Ergebnisdaten aufbereitet und Projektpartner Dr.Hampel zur vergleichenden Zusammenstellung zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung gestellt. Des Weiteren hat der Zuwendungsempfänger an den Projekt-Workshops am 14.09. und 24.10.2006 (AP4) teilgenommen und sich an der öffentlichen Abschlussveranstaltung am 08. November 2006 in der BGR Hannover (AP10) beteiligt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Laufzeit dieses Vorhabens endete am 30.11.2006.

Die Ergebnisse werden außer im Abschlussbericht auch auf der 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) in mehreren Vorträgen präsentiert und in den zugehörigen Veröffentlichungen dokumentiert werden (AP11).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- A. Hampel, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche, A. Pudewills, R. Günther, W. Minkley, K. Salzer, Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr & D. Zapf (2006): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. – Wissenschaftliche Berichte, FZKA-PTE Nr. 9: Untertägige Entsorgung – Siebtes Statusgespräch zu FuE-Vorhaben auf dem Gebiet der Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen am 03. und 04. Mai 2006 in Karlsruhe, Forschungszentrum Karlsruhe.
- O. Schulze, U. Heemann, F. Zetsche, A. Hampel, R. Günther, W. Minkley, K. Salzer, A. Pudewills, R. Rokahr, D. Zapf, Z. Hou, R. Wolters & U. Düsterloh (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, I. Modeling of deformation processes and benchmark calculations. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (ME-CASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.
- Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr, D. Zapf, K. Salzer, R.-M. Günther, W. Minkley, A. Pudewills, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche & A. Hampel (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, II. Numerical modeling of two in situ case studies and comparison. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (ME-CASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1054</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 6		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 30.11.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 30.11.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 31.980,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Pudewills	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und unterschiedlichen experimentellen Daten. In diesem Vorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um mit Hilfe von Modellrechnungen die vorhandenen Stoffgesetze und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Es sollen die Phänomene Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung berücksichtigt werden. Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten
- AP3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil 1)
- AP4: Durchführung von Interim-Workshops und weiteren Treffen mit den Projektpartnern
- AP5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten
- AP6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil 2)
- AP7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner
- AP8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse
- AP9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze und Verfahrensweisen
- AP10: Ergebnis-Workshop
- AP11: Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum vom 01.07 bis 30.11.2006 waren die Arbeiten des INE auf die Darstellung und die Dokumentation von Rechenergebnissen aus verschiedenen Arbeitspaketen AP3-6 des Projekts fokussiert. Ein ausführlicher Abschlussbericht ist weitgehend fertig gestellt, er soll demnächst als FZKA-Bericht veröffentlicht werden. Weiterhin wurden die Rechenergebnisse aller beteiligten Partner zum Arbeitspaket AP6a (Simulation der EU 1 Strecke) zusammengefasst und im Rahmen der öffentlichen Abschlussveranstaltung am 08. November 2006 in der BGR Hannover (AP10) präsentiert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Laufzeit dieses Vorhabens endete am 30. 11. 2006.

Die Ergebnisse werden außer im Abschlussbericht auch auf der 6<sup>th</sup> Conference on the Mechanical Behavior of Salt (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) in mehreren Vorträgen präsentiert und in den zugehörigen Veröffentlichungen dokumentiert (AP11).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Pudewills, A. (2006): „Modelling of the hydro-mechanical processes around excavations in rock salt”, Proc of EUROCK 2006, Liege, Belgium, Eds.: A. Van Cotthem et al.; Taylor & Francis Group, London, pp. 527-530, 2006.
- A. Pudewills, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche, A. Hampel, R. Günther, W. Minkley, K. Salzer, Z. Hou, R. Wolters, D. Zapf (2006): Modellrechnungen zur EU1 Strecke in Sondershausen: Darstellung und Vergleich der Ergebnisse und deren Diskussion, Vortrag an der Abschlussveranstaltung am 08. November 2006, BGR, Hannover .
- O. Schulze, U. Heemann, F. Zetsche, A. Hampel, R. Günther, W. Minkley, K. Salzer, A. Pudewills, R. Rokahr, D. Zapf, Z. Hou, R. Wolters & U. Düsterloh (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, I. Modeling of deformation processes and benchmark calculations. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.
- Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr, D. Zapf, K. Salzer, R.-M. Günther, W. Minkley, A. Pudewills, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche & A. Hampel (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, II. Numerical modeling of two in situ case studies and comparison. – Wird veröffentlicht in: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (MECASALT VI), Hannover 2007. A.A. Balkema Publ., Lisse.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99423 Weimar		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1064</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichte- verteilungen in Bentonitversuchsbauwerken		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2004 bis 30.04.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 394.979,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kupfer	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Arbeitsablauf erfolgen Untersuchungen zu dielektrischen Materialeigenschaften, Feldsimulationen zur Kalibrierung von Sensoren, zur Rekonstruktion (Ortsauflösung) von Feuchte- und Dichteverteilung. Test des neuen Messverfahrens in labor- und halbtechnischen Versuchen zur Detektion der räumlichen und zeitlichen Flüssigkeitsausbreitung in Bentonitdichtelementen. Hydraulische Modellierung auf Grundlage von messtechnisch ermittelten Feuchte- und Dichteverteilungen. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse soll ein Messsystem für den Einsatz in horizontalen Verschlussbauwerken entworfen werden. Test des Messverfahrens in Verschlusselementen eines Verschlussbauwerkes in einer Strecke im Carnallitit. Weitere Anwendungen des Messverfahrens in Verschlussbauwerken in Untertagedeponien und im Endlagerbereich. Perspektivischer Einsatz in Monitoringsystemen mit implantierten Sensoren im Bauwesen, zur Signalisierung von Deichbrüchen, Lawinen und Muren, in der Landwirtschaft, zur Überwachung von Getreidesilos und zur Bestimmung der Bodenfeuchte.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Untersuchungen zu dielektrischen Materialeigenschaften
- AP2: Elektromagnetische Feldsimulationen zur Rekonstruktion von Feuchte-  
/Dichteverteilung
- AP3: Quantifizierung von Feuchte und Dichte mit koaxialer Messleitung und Kabelsensor
- AP4: Ortsdiskretisierung von Feuchteprofilen
- AP5: Erfassung der räumlichen Feuchte- und Dichteverteilung
- AP6: Bestimmung von Feuchteprofilen in Abhängigkeit vom Druck
- AP7: Anwendung des TDR-Messsystems in halbtechnischen Versuchen
- AP8: Numerische Simulation der Feuchteausbreitung
- AP9: Konzeption und Entwurf eines Messgerätesystems für den Untertageeinsatz zur quantitativen Bewertung von Feuchte- und Dichteprofilen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1/AP2/AP3/AP4: Die folgenden Untersuchungen zur ortsaufgelösten Feuchte- und Dichteverteilung in porösen Medien wurden fortgesetzt:

- Betrachtungen zum Feuchte- und Dichte- bzw. Porositätsverhalten (3-Stoffe Modell).
- Herleitung einer dielektrische Mischungsformel.
- Dielektrische Eigenschaften über einen weiten Frequenz- und Temperaturbereich.
- Rekonstruktion der Volumenanteile der einzelnen Stoffe.
- Übertragungsverhalten von Impulsen auf elektrischen Leitungen mit in Impulsausbreitungsrichtung unterschiedlich geschichteten Wellenwiderständen
- Zusammenhang zwischen Wellenwiderstand und dem verlustlosen und/oder verlustbehafteten Dielektrikum des der Leitung umgebenden Materials.
- HFS-Simulation der TDR-Messleitung mit stark verlustbehafteten Material für die Rekonstruktion nicht geschichteter Materialien mit homogener Feuchteverteilung.

Algorithmen für die qualitative, quantitative und rekonstruktive Interpretation von TDR-Signalverläufen zur orts aufgelösten Feuchte- und Dichtebestimmung wurden hergeleitet. Die Anwendung auf real gemessene TDR-Signale zeigt, dass sie noch verbessert werden müssen.

AP7/AP8: Der halbtechnische Versuche HTV-Tr1 wurde abgeschlossen. Die Messdaten (Fluiddruck, Volumenstrom) sowie die Daten zur Feuchteausbreitung im Bentonit nach Rückbau sind Basis für die hydraulische Modellierung. Die Erfahrungen aus den TDR-Messungen führte zur Konstruktion der o.g. neuen Messleitung. Diese befindet sich in den z. Z. laufenden Technikumsversuchen HTV-Tr2 und HTV-TR3 im Einsatz. Sie ermöglicht eine genauere orts aufgelöste Detektion des Feuchtefortschrittes über die gesamte Versuchslaufzeit zu.

AP9: Das TDR-Messsystem für den Untertageinsatz (Teutschenthal, Projekt CARLA FKZ 02C1204), wurde konzipiert, als Funktionsmuster aufgebaut und labormäßig in Betrieb genommen. Für den Einsatz in MgO-Beton-Verschlussbauwerken werden hohe Anforderung an die Temperatur- und Laugenbeständigkeit der TDR-Messleitungen gestellt. Die Leitungen werden aus hitzebeständigeren Materialien (Koaxialkabel aus Teflon) konfiguriert und speziell gegen Lösungszutritt geschützt.

#### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Fortführung der theoretischen Betrachtungen zum dielektrischen Verhalten von Stoffgemischen (3-Stoffe-Modell) und dem Schichtenmodell zur Rekonstruktion von Feuchte und Dichteprofilen (AP1, AP2, AP4, AP5).
- Fortführung der halbtechnische Versuche im 30-cm-Druckrohr (AP7) zur Gewinnung von Messdaten für die hydraulische Modellierung (AP8).
- Bau eines Untertage-TDR-Messsystem mit der entsprechenden Anzahl neuer TDR-Messleitungen für den Großversuch 1 (GV1) im Projekt CARLA (FKZ 02C1204) und anschließender Installation in Teutschenthal (AP9).

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

Kupfer, K., Trinks, E., Schäfer, Th., Hübner, Ch.: Measurement Method for Detection of Moisture Profiles in a Saline Environment. Conference Proceedings 6<sup>th</sup> International Conference on "Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances", Weimar, Germany, 2005.

Kupfer, K., Trinks, E.: Simulations and Experiments for Detection of Moisture Profiles with TDR in a Saline Environment. Electromagnetic Aquametry (Ed. Klaus Kupfer), Springer 2005.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1074</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2004 bis 31.03.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 405.816,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Eisenburger	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die erhöhte Anforderung, umweltbelastende Stoffe sicher zu lagern, erfordert die Errichtung sicherer untertägiger Deponien. Aufgrund der begrenzten Sicherheit technischer Barrieren, ist es wichtig natürliche geologische Barrieren zu finden, die langfristig sicherer sein können. In diesem FV soll eine neue Radar-Bohrlochsonde entwickelt werden, mit der aus einer allein stehenden Bohrung räumliche Informationen über das anliegende Gebirge gewonnen werden. Die Entwicklung geht von einem bekannten Bohrlochsystem aus. Zuerst werden die HF-Komponenten (Sende- und Empfangsantenne) auf die Möglichkeit ihrer Verbesserung untersucht, um anschließend neue Radarverfahren auf ihre Eignung als richtungssensitives Bohrlochmessverfahren zu untersuchen. Weiterhin wird durch verbesserte Algorithmen eine schnelle Verarbeitung der Messdaten angestrebt.

Das Forschungsvorhaben ist ein Verbundvorhaben an dem sich folgende Institutionen beteiligen:

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Fachgruppe Geophysikalische Forschung, Ref. Geophysik für das Ressourcenmanagement.
- Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Wuppertal
- Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen Monitoring und Geomesssysteme, Mines and More Division
- K+S Aktiengesellschaft, Bereich Geologie

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Verbundvorhaben gliedert sich in drei Teilvorhaben, die von den angeführten Institutionen in eigener Verantwortung durchgeführt werden.

Teilvorhaben I: „Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems“; Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Wuppertal

Teilvorhaben II: „Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit“; Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen



Teilvorhaben III: „Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten“; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Dieses beinhaltet zwei Arbeitspakete:

AP1: Vereinheitlichung und Neustrukturierung des EMR-Auswertesystems der BGR

AP2: Aussagemöglichkeiten der EMR-Messungen

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

Der Schwerpunkt der Arbeiten im oben angeführten Teilprojekt verlagert sich im weiteren Zeitraum des Verbundvorhabens mehr auf die Erweiterung der Aussagemöglichkeit von EMR-Messungen (Georadarmessungen

Eine erste Reihe von Parametersätzen wurde auf ihre Möglichkeit einer eindeutigen Charakterisierung von Reflexionen hin untersucht.

Hierbei können einige Parameter direkt aus den Radardaten entnommen werden andere müssen durch ein definiertes Processing gewonnen werden. Einzelne Parameter oder deren Kombination können zu Attributen der einzelnen Reflexionen zusammengefasst werden. Diese Attribute können nun in das Netzwerk eines neuronalen Netzwerkes eingespeist werden und aus der Überlagerung und dem Vergleich mit bekannten Reflexionsmustern eine generelle Charakterisierung vorgenommen werden.

Als neuronales Netzwerk wurde der SNNS Simulator der Universität Stuttgart gewählt. Um den Prozess der Attributauswahl zu erleichtern und beschleunigen wurden in der EMR-Auswertesoftware inzwischen die Berechnung von momentanen Attributen implementiert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Weiterführung der Umsetzung des EMR Auswertesystems mit der Qt Bibliothek.
- Ausarbeitung der Struktur der Steuer- und Datenerfassung (einhergehend mit der Hardwareentwicklung)
- Untersuchungen hinsichtlich der Anwendbarkeit der ausgewählten Attribute zur Charakterisierung von Radarsignalen.
- Test der Sondenkomponenten in einem von K+S zur Verfügung gestellten Versuchsfeld.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1084</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2004 bis 31.03.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 587.696,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Chaloupka	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das an der Bergischen Universität Wuppertal durchgeführte Teilvorhaben wird in Kooperation mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover und der Deutschen Montantechnologie GmbH (DMT) in Essen durchgeführt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Arbeiten im Teilvorhaben „Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems“ umfassten im Berichtszeitraum die Arbeitspakete:

AP4: Bau und Test des HF-Teils Demonstrator im Bereich „Höchstfrequenztechnik“ (HFT),  
 AP5: Erweiterte feldtheoretische Modellierung im Bereich „Theoretische Elektrotechnik“ (TE),  
 AP6: Bau und Test Analog- und Digitalelektronik sowie „Erstellung einer Messsoftware“ im Bereich „Messtechnik“ (MT).

Der Punkt „Feld- und Labortests sowie Optimierung der HF-Komponenten“ wurde in Kooperation zwischen den Gruppen bearbeitet.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### HFT:

Ausgehend von den Ergebnissen des letzten Prototypentests wurde an einer Verbesserung der HF-Eingangsschaltung, der Modenseparation und der Adaptionsschaltung des Empfängers gearbeitet. Es wurde eine neue Adaption-Baugruppe entwickelt, die eine höhere Zahl an Zuständen sowie unterschiedliche Möglichkeiten der Adaption an wechselnde Bedingungen ermöglicht, wie z. B. Eigenschaften der Sondenumgebung oder Anforderungen an das Empfangssignal. Die Baugruppe zur Modenseparation wurde weiter entwickelt und soll in der nächsten Version der Sonde verwendet werden. Weiterhin wurde die Baugruppe zur drahtlosen Kommunikation zwischen den Einzelmodulen entwickelt und aufgebaut. Diese enthält eine zirkular polarisierte Mikrowellenantenne, die die Ankopplung an die verwendete Wellenleiterstruktur gewährleistet. Durch diese Maßnahmen kann auf die störungsanfällige Datenübertragung über Glasfaserstrecken verzichtet werden.

Die theoretische Modellierung der Empfangsantenne wurde weiterentwickelt, wodurch sich eine genauere Beschreibung des Systems ergab. Dadurch werden weitere zukünftige Verbesserungen ermöglicht, indem z. B. weitere Moden des Antennensystems verwendet werden, die in der nächsten Version berücksichtigt werden sollen.

EMT:

Der aktuelle Empfänger wurde im Berichtszeitraum überarbeitet. Die Sendertriggerung wurde verändert, um eine variable Länge des Triggersignals zu ermöglichen, was zur Datenübertragung zum Sender genutzt werden kann. Des Weiteren wurde die Rückwirkung der Sendertriggerung auf die Spannungsversorgung verringert. Außerdem wurde die PC-Übertragungssoftware weiter verbessert. Der mögliche Betriebsbereich der HF-Verstärker wurde für den aktuellen Aufbau ermittelt.

Die Übertragungsstrecke von der Sonde zum Kontrollmodul wurde von einer optischen Verbindung über Glasfaser auf eine Verbindung mittels des Bluetooth-Standards über eine Mikrowellenleitung umgestellt. Dies bietet in unserem Fall einen Geschwindigkeitsvorteil und eine einfachere Nutzung der Sonde im Einsatzbereich.

Es wurde ein weiteres Interleaved-Sampling-Verfahren konzipiert und simuliert. Dieses Verfahren beruht auf einer Triggerung der Messwertumwandlung mit den AD-Umsetzern durch das direkte Empfangssignal selbst. Dies bedeutet, dass der Sender freilaufend getriggert werden kann. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass man mit diesem Verfahren gegenüber dem vorherigen Verfahren die Qualität der Messwerte verbessern kann.

Für die nächste Version des Empfängers wurde eine komplett neue Baugruppe mit einem Virtex-4 FPGA aufgebaut. Dort sind weitere Arbeiten sind für das neue Interleaved-Sampling Verfahren erforderlich.

TET:

Die Datenkommunikation zwischen dem Kontrollmodul und dem Auswertungsrechner soll auf Grundlage von xDSL-Technologien realisiert werden, damit ausreichend hohe Datenraten erreicht werden. Im letzten Berichtszeitraum wurde die Möglichkeit einer Eigenlösung geprüft und als unrentabel bewertet, da die Entwicklungszeiten sehr groß wären. Kommerzielle Lösungen scheiden dagegen aufgrund des Formfaktors aus. Durch eine umfangreiche Recherche wurden u. a. single-chip-Lösungen der Fa. Infineon gefunden, die die Anforderungen erfüllen, jedoch nur für Großkunden zur Verfügung stehen und nicht direkt einsetzbar sind, da die Chips für Frequenzbereiche ausgelegt sind, in dem die Dämpfung des Bohrlochkabels zu groß wird. In Kooperation mit der Fa. Teleconnect, Dresden konnte durch Anpassung der Firmware der Chips der Einsatz unter den gegebenen Randbedingungen sichergestellt werden; ein entsprechender Test wurde in Dresden durchgeführt und ein Auftrag über die Beschaffung der entsprechenden Module erteilt. Die xDSL-Modems dienen dabei als „Ethernet-Verlängerung“, und dementsprechend muss im Kommunikationsmodul eine Umsetzung von Bluetooth zu Ethernet erfolgen. Dafür wurden entsprechende Lösungen gesucht und vorbereitet. Für den Auswertungsrechner wurde entsprechende Software vorbereitet, damit dieser die Sonde über TCP/IP ansprechen kann. Zusätzlich wurde damit begonnen, eine Benutzeroberfläche unter Matlab zu programmieren und einen Export der Messdaten in das BGR-Format zu realisieren.

**4. Geplante Weiterarbeiten**HFT:

Für die nächste Version des Empfangssystems soll die Baugruppe zur Modenseparation und Adaption überarbeitet werden, so dass die gewonnenen Erkenntnisse in das Design des Gesamtsystems einfließen können. Dabei sollen die während des Prototypentests über die Eigenschaften des Empfangssystems gewonnenen Informationen verwendet werden, um die Leistungsfähigkeit des Systems weiter zu verbessern. Ein Schwerpunkt soll dabei auf der Steigerung der Empfindlichkeit des Empfangssystems liegen, um die Reichweite und Genauigkeit des Radarsystems zu optimieren.

EMT:

Nach der Analyse der Ergebnisse des nächsten Feldversuches wird die aktuelle Sonde weiter verbessert. Danach wird eine weitere Sonde mit einer anderen Methode der Sender/Empfänger-Triggerung aufgebaut. Die neue Plattform mit einem Virtex-4 FPGA bietet mehr Möglichkeiten. Außerdem wird der neue Empfänger neue AD-Umsetzer mit einer Samplingrate von 125MSPS enthalten. Durch diese Maßnahmen erwarten wir mehr Flexibilität, höhere Messgeschwindigkeit und bessere Messergebnisse.

TET:

Die Umsetzung von Bluetooth zu Ethernet im Kommunikationsmodul sowie die Software zur Kommunikation soll verbessert werden.

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> DMT GmbH, Am Technologiepark 1, 45307 Essen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1094</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2004 bis 31.03.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 395.241,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Kröger	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die erhöhte Anforderung, umweltbelastende Stoffe sicher zu lagern, erfordert die Errichtung sicherer untertägiger Deponien. Aufgrund der begrenzten Sicherheit technischer Barrieren ist es wichtig, natürliche geologische Barrieren zu finden, die langfristig sicherer sein können.

In diesem Forschungsvorhaben soll eine neue Radar-Bohrlochsonde entwickelt werden, mit der aus einer allein stehenden Bohrung räumliche Informationen über das anliegende Gebirge gewonnen werden.

Das Forschungsvorhaben ist ein Verbundvorhaben an dem sich folgende Institutionen beteiligen:

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Fachgruppe Geophysikalische Forschung, Ref. Geophysik für das Ressourcenmanagement.
- Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Wuppertal
- Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen Geomesssysteme, Exploration & Geosurvey

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Verbundvorhaben gliedert sich in drei Teilvorhaben, die von den angeführten Institutionen in eigener Verantwortung durchgeführt werden.

Teilvorhaben I: „Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems“; Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Wuppertal

Teilvorhaben II: „Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit“; Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen

Teilvorhaben III: „Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten“; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### Optimierung des Receivermoduls (RM):

Während des ersten Tests zeigte sich, dass ein Zugriff auf die internen Komponenten nur mit großem Aufwand möglich ist. Speziell während der umfangreichen Testphase ist aber ein solcher Zugriff erforderlich und muss problemlos möglich sein. Aus diesem Grund sind die Übergänge von der Antennenstruktur auf die Eingangsverstärker mechanisch neu konstruiert und gefertigt worden. Die Isolierkörper zur Durchführung der Antennenleitungen wurden deutlich vergrößert, wodurch am Durchleitungspunkt die Kurzschlussgefahr nun nicht mehr besteht. Die Kontaktierung der Vorverstärker erfolgt jetzt durch Schraubverbindungen die sich einfach lösen lassen. Zur Aufnahme der sondeninternen Kommunikationselemente ist eine Halterung konstruiert worden, die direkt mit dem Chassis des Orientierungsmoduls verbunden werden kann.

Control & Communication Modul (CCM):

Die ersten Tests mit dem DABOR System konnten ohne Kupferkabel zwischen RM und Steuerrechner durchgeführt werden, da das Empfängermodul RM direkt über einen Lichtwellenleiter mit dem Steuerrechner kommuniziert hat. Dieser war mit einem entsprechenden Interface ausgestattet.

Der folgende Test, der realen Bedingungen möglichst nahe sein sollte, wird deshalb mit einem weiterem Sondensegment, dem Kontrollmodul, durchgeführt. Dieses Modul enthält zunächst nur neutrale Baugruppen, die den Inhalt des Datenstroms nicht beeinflussen. In diesem Modul befindet sich die Schnittstelle zwischen der sondeninternen Kommunikation und dem Bohrlochmesskabel (für den Test ein LAN Kabel/ RS 232 Kabel).

Der CCM Prototyp besteht aus einem 500 mm langen Kunststoff Rohr (POM) mit entsprechenden Adapterstopfen zum Schubgestänge und den RM Verbindungsrohren. Diese Verbindungsrohre wurden alle mit den Datenübertragungselementen ausgerüstet. Die Stromversorgung des CCM erfolgt über die Kabelverbindung zum Steuerrechner.

Transmitter Modul (TM):

Im vergangenen Berichtszeitraum haben wir Untersuchungen zur Leistungssteuerung des Senders durchgeführt, sowie Möglichkeiten einer Triggersignalauskopplung betrachtet. Eine Leistungssteuerung ist für die Untersuchungen der Sondenempfindlichkeit sehr hilfreich.

In gewissen Grenzen ist eine solche Steuerung durch Variieren der Betriebsspannung der Avalanche Kaskade möglich. Der Betriebsspannungsbereich liegt zwischen 200 VDC und 320VDC, wobei dann die Ausgangsspannung zwischen 350 Vpp und 550 Vpp liegt. Die Messungen sind bei einer Last von 50 Ohm durchgeführt worden. Die Impulsleistung variiert also zwischen 2450 W und 6050 W, bei einer geringfügigen Änderung der Sendepulsbreite von 10 ns. Problematisch ist jedoch die Leistungseinstellung selbst, da im Triggerzeitpunkt in allen Senderstromkreisen breitbandige Störungen induziert werden, die einen ungeschützten Mikrocontroller „abstürzen“ lassen. Dieser Punkt ist zur Zeit noch nicht vollständig gelöst. Die Schaltkreise nahe der Avalanche Kaskade zu entstören, ist auch für die Erzeugung eines „sauberen“ Triggersignals für den Empfänger wichtig. Wenn nämlich der Sender asynchron zum Empfänger arbeitet, benötigt das Empfangsmodul ein Referenz oder Triggersignal. Dieses Signal kann aus der direkten Welle abgeleitet werden. Ist diese jedoch durch die umliegende Formation stark gedämpft, können nur noch Werte nahe der Rauschgrenze empfangen werden, sind also mit einem starken Jitter behaftet und somit unbrauchbar. Alternativ hierzu haben wir Untersuchungen begonnen, einen kleinen Teil der Sendeenergie auszukoppeln und zu einem Triggersignal aufzubereiten, welches über eine Glasfaserverbindung zum Empfängermodul gesendet wird. Die bisherigen Versuche verliefen positiv, so dass wir davon ausgehen, dass für die nächste Testphase in der auch ein nicht synchronisierter Sender betrieben werden soll, ein entsprechendes Triggersignal zur Verfügung steht.

Steuerrechner/ Windenkontroller:

Der Windenkontroller ist eine autarke Baugruppe im Steuerrechner, die grundlegende Windenfunktionen verschiedener Windentypen steuern kann. Für das DABOR System ist es erforderlich, automatisch Messpunkte in einem definierten Teufenintervall anzufahren. Es müssen Messpunktabstände zwischen 0,5 m und 2 m realisierbar sein. Die übrigen notwendigen Kontrollerfunktionen wurden jetzt wie folgt definiert:

- Speisung eines Inkrementalgebers zur Teufenerfassung mit wahlweise 5 VDC, 12 VDC oder 15 VDC, Empfang und Auswertung der Quadratur Teufenimpulse in den zuvor genannten Spannungslagen.
- Speisung einer Lastmesseinrichtung mit wahlweise 5 VDC, 12 VDC oder 15 VDC. Auswertung des Analogausgangs einer Lastmesseinrichtung 0 – 10 VDC, 0 – 5 VDC.
- Ausgangsseitig ist ein Steuerausgang zur Ansteuerung eines Standard Servoverstärkers mit +/-10 VDC vorgesehen. Ferner werden zwei getrennte Schaltausgänge für eine Bremse und separate Stoppfunktion benötigt.
- Die Stromversorgung des Windenkontrollers erfolgt über einen separaten Akkumulator, der aus der Hauptstromversorgung ständig geladen wird.
- Die Kommunikation mit dem Steuerrechner erfolgt über eine RS232 Schnittstelle.

**4. Geplante Weiterarbeiten**

Eine weitere Testmessung wird zu Beginn des folgenden Berichtszeitraums stattfinden. Die Testziele wurden bereits definiert und die Systemkomponenten des Prototypen entsprechend vorbereitet.

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99423 Weimar		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1104</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 343.086,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Schanz	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei diesem Vorhaben handelt es sich um eine Fortsetzung des Vorhabens *Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement* (Abschluss 7/2004). Lag der Schwerpunkt der Arbeiten bisher bei der experimentellen und theoretischen Behandlung des gekoppelten hydraulischen und mechanischen Verhaltens, so werden hier Fragen der thermischen und chemischen Kopplung mit den mechanischen und hydraulischen Phänomenen betrachtet. Einen zweiten Schwerpunkt bilden die Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Tonen. Die bisher beschriebenen physikalischen Phänomene umfassen das gekoppelte hydraulische (Permeabilität, Kapillardruck-Sättigungsbeziehung) mechanische (Quelldruck, Steifigkeit) Verhalten. Darüber hinaus besteht jedoch eine signifikante Evidenz für die notwendige Berücksichtigung zusätzlicher physikalischer Effekte (Temperatur, Kriechen und Alterung).

Im Gegensatz zur bisher ausschließlichen Betrachtung von so genannten *Elementversuchen* sind für die Phase II ergänzend Versuche im Technikumsmaßstab notwendig (Temperatureinflüsse).

Die Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit des konstitutiven Verhaltens erfolgt sowohl bei den theoretischen, numerischen als auch bei den experimentellen Arbeitsschwerpunkten.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Zentraler Inhalt der experimentellen Untersuchungen ist die Untersuchung und Charakterisierung des Einflusses der Temperatur (wiederholte Aufsättigungs-/Trocknungs-Zyklen) auf die konstitutiven Eigenschaften (Struktur/Porengrößenverteilung/Mikrorisse/ Permeabilität, Quellen) des Dichtelements (hochverdichtete Bentonit-Sand-Mischung). Dies geschieht im Bezug zur Frage der Langzeitstabilität der Gesamtkonstruktion Verschlussbauwerk
2. Ermittlung der teilgesättigten Permeabilität (in Abhängigkeit von der Saugspannung) von Bentonit-Sand-Mischungen
3. Untersuchung des Zeitverhaltens (Kriechen, Alterung, Phasenübergänge) von Bentonit-Sand-Mischungen
4. Untersuchung des Zusammenhangs zwischen konstitutiven Eigenschaften und der Mikrostruktur (Quecksilberporosimetrie, ESEM-Analyse), Anteil der verschiedenen Porensysteme an der hydraulischen Permeabilität
5. Klärung des Begriffs der Saugspannung bei hochverdichteten Tonen, Einfluss des osmotischen Drucks und dessen Berücksichtigung im numerischen Modell
6. Anwendung der DDL zur Beschreibung des Kompressionsverhaltens von hochverdichteten Sand-Bentonit-Mischungen unter hohen Drücken

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### *“One step swelling pressure” Versuche*

Probenherstellung:

- Verdichtete reine Bentonit (Calcigel) Proben mit niedriger bis sehr hoher Dichte (Trockendichten von 1.1 Mg/m<sup>3</sup> -1.5 Mg/m<sup>3</sup>).
- Verdichtete Bentonit-Sand Mischungen mit einer Zusammensetzung von 50 % Bentonit-50 % Sand mit niedriger und sehr hoher Dichte (Trockendichte der Mischungen von 1.5 Mg/m<sup>3</sup> – 2 Mg/m<sup>3</sup>).

Methodik und Ausrüstung:

Modifizierte UPC Quelldruckzellen. Sättigung in einem Schritt durch die Zuführung von Wasser.

Resultate:

- Entwicklung des Quelldrucks mit der Zeit für 20° C und 80° C
- Ableitung der Beziehung Quelldruck versus Porenzahl für 20° C und 80° C

#### *“Multi-steps swelling pressure” Versuche bei 80° C*

Probenherstellung:

Verdichtete Bentonit-Sand Mischungen mit einer Zusammensetzung von 50 % Bentonit-50 % Sand mit niedriger und sehr hoher Dichte (Trockendichte der Mischungen von 1.5 Mg/m<sup>3</sup> – 2 Mg/m<sup>3</sup>).

Methodik und Ausrüstung:

Benutzt werden modifizierte UPC Quelldruckzellen. Die Sättigung wird in einzelnen Schritten durch die Änderung der Saugspannung erzielt. Dazu werden sowohl ATT als auch VET (sowohl gesättigte als auch molare Lösungen) benutzt. Die relative Feuchte des Wasserdampfs und seine Temperatur wurden mit Sensoren geregelt. Der angewandte Bereich der totalen Saugspannung betrug 3000 bis 1000000 kPa.

Resultate:

- Entwicklung des Quelldrucks nach vorhergehender schrittweiser Teilbewässerung;
- Wetting curve für die Bedingung konstantes Volumen und Vergleich mit Resultaten aus vorgängiger Projektphase für 20° C.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### *“Multi-steps swelling pressure” Versuche bei 80°C*

Die unter 3 beschriebenen Versuche werden fortgeführt.

Probenherstellung:

Verdichtete Bentonit-Sand Mischungen mit einer Zusammensetzung von 50 % Bentonit-50 % Sand mit niedriger und sehr hoher Dichte (Trockendichte der Mischungen von 1.5 Mg/m<sup>3</sup> – 2 Mg/m<sup>3</sup>).

Methodik und Ausrüstung:

Benutzt werden modifizierte UPC Quelldruckzellen. Die Sättigung wird in einzelnen Schritten durch die Änderung der Saugspannung erzielt (ATT, Keramik mit hohem Lufteintrittspunkt).

Resultate:

- Entwicklung des Quelldrucks für Saugspannungen kleiner 1000 kPa
- Wetting curve für die Bedingung konstantes Volumen und Vergleich mit Resultaten aus vorgängiger Projektphase für 20° C

#### *„Oedometerversuche“ bei 80°C*

Probenherstellung:

Verdichtete Bentonit-Sand Mischungen mit einer Zusammensetzung von 50 % Bentonit-50 % Sand mit niedriger und sehr hoher Dichte (Trockendichte der Mischungen von 1.5 Mg/m<sup>3</sup> – 2 Mg/m<sup>3</sup>).

Methodik und Ausrüstung:

Modifizierte UPC Oedometerzelle

Erwartete Resultate:

Vergleich mit vorherigen Ergebnissen bei 20° C & thermischer Ausdehnungskoeffizient.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

2 weitere Konferenzbeiträge, Details über [tom.schanz@bauing.uni-weimar.de](mailto:tom.schanz@bauing.uni-weimar.de)

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstr. 7, 72074 Tübingen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1114</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2005 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 319.906,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Kolditz	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die im Rahmen der bisherigen Arbeiten beschriebenen physikalischen Phänomene umfassen das gekoppelte hydraulische und mechanische Verhalten von Bentonit-Sand-Gemischen, die zur Erstellung von Dichtelementen für untertägige Deponien und Verschlüsse verwendet werden. Darüber hinaus besteht jedoch eine signifikante Evidenz für die notwendige Berücksichtigung zusätzlicher physikalischer und chemischer Effekte (Temperatureinfluss, Zeiteffekte wie Kriechen und Alterung, mineralische Phasenübergänge, Gasfreisetzung und Migration, Wechselwirkungen mit freigesetzten Schadstoffen), die sich durch teilweise vorhandene experimentelle Beobachtungen unterlegen lässt. Die Forschungsschwerpunkte der zweiten Projektphase sind nicht-isotherme Effekte, transiente Deformationsprozesse, Veränderungen von Permeabilitäten infolge von THMC Prozessen. Dabei geht es insbesondere um Fragen der Langzeitstabilität von Dichtelementen. Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden wie in dem bisherigen Projekt in wissenschaftlichen Fachzeitschriften und auf internationalen Fachtagungen publiziert. Daneben werden eigenständige wissenschaftliche Veranstaltungen in Form von Workshops durchgeführt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm dieses Vorhabens zur Entwicklung eines numerischen THMC-Simulators orientiert sich an den physiko-chemischen Prozessen in Verschlussmaterialien (WP-T1: Thermische Prozesse, WP-T2 Hydraulische Prozesse, WP-T3: Mechanische Prozesse, WP-T4 Chemische Prozesse). Numerische Verfahren (WP-T5), Softwareentwicklung (WP-T6) und Höchstleistungsrechnen (WP-T7) bilden den technischen Rahmen des Vorhabens.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- WP-T1 Thermische Prozesse: Dokumentation von thermo-mechanischen Testbeispielen in der GeoSys/RockFlow Benchmark-Sammlung (Kolditz et al. 2006),
- WP-T2 Hydraulische Prozesse: Erweiterungen des nicht-isothermen Strömungsmodells hinsichtlich des Feuchtetransports durch Dampfdiffusion (Wang and Kolditz, 2006), Verifizierung des „dual-continua“ Strömungsmodells durch einen direkten Vergleich mit dem Programmsystem TOUGH (unpubliziert),
- WP-T3 Mechanische Prozesse: Implementierung von Stoffmodellen für visko-elastische Deformationen (quasi-stationäres Kriechmodell der BGR) (Wang et al. 2006a), Betrachtung von HM gekoppelten kontaktmechanischen Prozessen in klüftigen Gesteinen (Walsh et al. 2006),



- WP-T4 Chemische Prozesse: siehe Zwischenbericht zum Vorhaben C1295,
- WP-T5 Numerische Verfahren: Entwicklung eines Verfahrens für eine automatische Zeitschrittsteuerung für nicht-lineare Diffusionsprobleme nach der Rosenbrock-Methode. Weitere Verifizierung von THM Modellen anhand von DECOVALEX Benchmarks (Wang et al. 2006a),
- WP-T6 Softwareentwicklung: Publikation der neuen C++Element-Klasse (OO-ELE) für gekoppelte THM Prozesse (Wang and Kolditz 2006), Erweiterung der Element-Klasse für Mehrphasenströmungs-Prozesse.
- WP-T7 Höchstleistungsrechnen: GeoSys/RockFlow ist objekt-orientiert parallelisiert (Gebietszerlegung und paralleles Lösen von Gleichungssystemen). Testläufe von gekoppelten THM Modellen auf verschiedenen Parallelrechner-Plattformen (diverse Linux-Cluster, CRAY-XT, NEC-SX8) verliefen sehr erfolgreich. Somit konnten erstmals 3-D THM Modelle simuliert werden (Wang et al. 2006c).

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im Rahmen dieses Vorhabens geht es in erster Linie um ein verbessertes Verständnis von Wärmeeffekten in Verschlussmaterialien wie z. B. Bentonite. Seit einiger Zeit wird aber zunehmend auch die Eignung anderer Materialien, wie Magnesiumsulfat (SVV – als „self sealing backfill“), für Verschlussbauwerke geprüft. Daher sollen in der nächsten Projektphase vorrangig die folgenden beiden Schwerpunkte verfolgt werden:

- Anwendung des bisher entwickelten Instrumentariums für numerische THM-Simulationen zur Auswertung der experimentellen Ergebnisse aus Weimar (Prof. Schanz). Dabei geht es insbesondere um die Untersuchung von Quelldrücken in kompaktierten Bentoniten bei verschiedenen Temperaturregimen.
- Modellierung von Temperatureffekten infolge chemischer Reaktionen bei Kristallisationsprozessen. Somit können gezielt Ergebnisse des Vorhabens C1295 integriert werden.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Kolditz O, Wang W, Du Y, Park, C-H, Hesser J and Shao H (2006): Benchmarks for THM processes. Technical Report, Center for Applied Geosciences, University of Tübingen.
- Wang W and Kolditz O (2006): Object-oriented finite element analysis of thermo-hydro-mechanical (THM) problems in porous media, *Int. J. Numerical Methods in Engineering*, vol. 69 (1): 162-201, DOI:10.1002/nme.1770.
- Wang W, Xie M, Nowak T, Kunz H, Shao H and Kolditz O (2006a): Modeling THM coupled problems of TASK D of the DECOVALEX project, GEOPROC2006, Nanjing, China, GeoSys-Preprint [2006-11], Center for Applied Geosciences, University of Tübingen.
- Wang W, Xie M, Shao H and Kolditz O (2006b): Simulation of long-term thermal, hydraulic and mechanical interaction between buffer and salt host rock. 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt: Understanding of the THMC Processes in Salt Rocks, 22-25.05.2007, Hannover (accepted paper).
- Walsh R, McDermott C and Kolditz O (2006): Modeling stress-permeability coupling in fractures: a finite element approach with realistic discrete fractures, submitted to *Hydrogeology*.
- Wang W, Adamidis P, Hess M, Kemmler D and Kolditz O (2006c): Finite element analysis of thermo-hydro-mechanical (THM) coupled problems: parallel computing, *ICCES2007*, vol.1, no.1, pp.1-10.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1124</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 31.03.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 642.644,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Kudla	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens ist, geeignete Materialien und neuartige konstruktive Lösungen zu finden, mit denen zu bereits bekannten Bentonitdichtelementen weitere Dichtelemente zu einem redundanten Dichtsystem realisiert werden können, so dass das Gesamtsystem auch bei relativ schnell auftretender Flüssigkeitsdruckbelastung oder eventuell wechselndem Chemismus seine Dichtfunktion, einschließlich der Impermeabilisierung des aufgelockerten, ausbruchsnahen Bereiches, erfüllt.

Wird dieses Dichtelement aus Bitumen, Asphalt, Asphaltbeton, Gussasphalt o. ä. hergestellt, erreicht man aufgrund der prinzipiell völlig anderen Dichtmechanismen von Bitumen zum Gebirge und zu wässrigen Lösungen sowie der absoluten Flüssigkeitsdichtheit dieser Materialien zusätzlich ein diversitäres Dichtsystem.

Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit solcher Dichtsysteme soll durch halbtechnische Versuche bei unterschiedlichen Belastungsszenarien erfolgen.

Ergänzt werden die Materialuntersuchungen mit Untersuchungen zur Bildung von Mikrorissen in Salzbeton und Solebeton. Dazu werden neue mikromechanische Modelle unter Berücksichtigung des Hydratationsverhaltens und unterschiedlicher Zuschlagstoffe entwickelt und experimentelle Arbeiten durchgeführt. Das Ziel dieser Arbeiten ist, Aussagen zur Beeinflussung der Kinetik der Zementsteinkorrosion durch Salzlösungen zu treffen und damit neue Erkenntnisse zum Langzeitverhalten von Beton unter salinaren Bedingungen zu erhalten.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Wissensstand zu kombinierten Ton – Bitumen / Asphalt – Dichtungen
- AP2: Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Beton unter salinaren Bedingungen
- AP3: Anforderungen und Materialauswahl
- AP4: Modifizierung von Bitumen zur Einstellung der Dichte und des rheologischen Verhaltens
- AP5: Zusammenwirken zwischen Bitumen / Asphalt und Bentonit
- AP6: Konstruktive Lösungen und technische Ausführung
- AP7: Test des Gesamtsystems aus beiden Dichtelementen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: In dem für den Zusammenhang zwischen Hydratations- bzw. Schwindverhalten und dadurch verursachter Rissbildungsprozesse entwickelten Berechnungsmodell werden die sich gegenseitig beeinflussenden Feuchte- und Wärmehaushalte des Werkstoffes gemeinsam betrachtet. In weiteren Untersuchungen zur Reduzierung des Schwindverhaltens von Salzbeton wurde der Zusammenhang zwischen dem CaO-Alter und der Reaktivität bzw. dem Quellvermögen des zugegebenen CaO studiert. Mit zunehmendem CaO-Alter zeigte sich eine signifikant geringere Schwindmaßreduzierung.
- AP4: Mittels Kriechversuche konnte nachgewiesen werden, dass Oxidationsbitumen eine innere Struktur besitzen und deren physikalischen Eigenschaften mit den 4-parametrischen Burger-Modell bzw. dem 3-parametrischen Lethersich-Modell beschrieben werden können. Je nach Grad der Strukturierung können Oxidationsbitumen mit einer hohen Nadelpenetration gleichzeitig einen hohen Erweichungspunkt besitzen. Inbetriebnahme einer Versuchsapparatur zum Test von Asphalt dichtungen bei Fluidrücken bis 100 bar. Erste Ergebnisse zum Eindringverhalten von Asphalt in Modellkörper mit unterschiedlicher Permeabilität. Die Arbeiten zur Rezepturentwicklung von Asphalt sind abgeschlossen.
- AP5: Problematisch ist die ungünstige thermische Beeinflussung der Bentonitdichtung beim klassischen Heißeinbau von Asphalt. Bei der Kombination einer Asphalt dichtung mit einer Bentonitdichtung aus binärem Gemisch ist die Verformung der Bentonitdichtung bei der übertragenen Flüssigkeitsdruckbelastung nachteilig.
- AP6: Für Schachtverschlüsse muss noch die optimale Anordnung der Einzelelemente gefunden werden. In Streckenverschlüssen ist der Kalteinbau von Asphaltformsteinen mit nachträglicher Monolithisierung durch Druck und Wärme dem Heißeinbau vorzuziehen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Fortsetzung mikromechanischer Modellbetrachtungen und der Untersuchungen zum Schwindverhalten von Salzbeton.
- AP5: Testversuche unterschiedlicher Kombinationsdichtungen aus Asphalt und Bentonit bei Flüssigkeitsdrücken bis 100 bar.
- AP6: In situ Bohrlochversuch ( $D = 300 \text{ mm}$ ) mit einem Asphalt dichtelement in der Grube Teutschenthal
- AP7: Beginn der Arbeiten. Vorbereitungen für halbtechnische Versuche

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1134</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2004 bis 30.06.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 449.188,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Langefeld	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist die Untersuchung eines geeigneten Baustoffs für die Erstellung von Dammbauwerken für Untertage-Deponien und Endlager im Salzgebirge unter besonderer Berücksichtigung der Langzeitsicherheit, Dehydratationsvorgänge und Migration von freigesetztem Kristallwasser sowie die Bereitstellung eines einsatzfähigen Verfahrens.

Vor Anlaufen eines Großversuchs sollte die pneumatische Einbringbarkeit des Dammbaustoffes und die Eignung der Technologie im Technikumsmaßstab untersucht werden. Bei der Konzeption des Großversuches ist neben den logistischen und technologischen Fragestellungen auch die Instrumentierung und wissenschaftliche Aufnahme der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Das Forschungsziel ist die Untersuchung zur Erstellung eines sicheren und langzeitstabilen Verschlusses von Einlagerungskammern und Strecken nach einer Verbringung von chemisch-toxischen und radioaktiven Abfällen im Salinar.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Untersuchung der pneumatischen Einbringbarkeit des Dammbaustoffes im Technikumsmaßstab am Institut für Bergbau der TU Clausthal und auf dem Forschungsbergwerk Asse
2. Konzeption eines Großversuches auf dem Forschungsbergwerk Asse
3. Aufbau und Durchführung des Großversuches
4. Datenerfassung, Auswertung und wissenschaftliche Aufbereitung der Versuchsergebnisse
5. Rückbau des Großversuches und Erstellung eines Abschlussberichtes

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

Im Berichtszeitraum wurden hauptsächlich Arbeiten der Arbeitspakete 4 und 5 durchgeführt, d. h. es stand die Datenerfassung und die Auswertung der Versuchsergebnisse im Vordergrund. Außerdem wurden die Einrichtungen zur Versuchsdurchführung soweit als möglich zurückgebaut.

Die Sensorik und Messtechnik des Versuchsaufbaus wurde um einige Module erweitert, die eine Überwachung und Erfassung der unmittelbaren Umgebung des Versuchsstandortes erlauben. Dadurch können Daten über Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit im Übergangsbereich Verschlussbauwerk und Wetterstrom ermittelt werden.

Die Temperaturen innerhalb des Bauwerks sind mittlerweile auf Gebirgstemperatur abgefallen und die Feuchte innerhalb des Dammes geht kontinuierlich zurück.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im nächsten Berichtszeitraum wird die Datenerfassung und Auswertung fortgeführt. Begleitend sollen am Institut für Bergbau Versuche zur Kalibrierung der Ergebnisse der Feuchtemessung durchgeführt werden. Es sollen Untersuchungen zum Quellverhalten des Baustoffs unter isobaren und isochoren Bedingungen durchgeführt werden. Des Weiteren sind Messungen bezüglich der Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs vorgesehen.

Im Weiteren sind noch Überlegungen zur weiteren Optimierung der Blastechnik insbesondere der Benetzungsdüse vorgesehen.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1144</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-FZR)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 197.205,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Brendler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken (SODA [GRS] und RES<sup>3</sup>T [FZR]) zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES<sup>3</sup>T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Sichtung vorhandener Literatur, Auswertung und Dokumentation und kontinuierliche Recherche neuer Literatur (Zeitschriftenartikel, Dissertationen u. a.), Einpflegen der Daten in die Datenbank
- Zusammenarbeit mit den ISDA-Partnern: weitere Bestellung und gegenseitige Bereitstellung von Literatur (als PDF-Datei und Hardcopy)

AP4: Experimentelle Schließung von Datenlücken

- Batchversuche: Sorption von Uran an Feinsand:
  - Variation der Urankonzentration bei der Sorption an natürlichem Feinsand
  - Variation der Urankonzentration und des pH-Wertes an synthetischem Feinsand
- Batchversuche: Sorption von Uran an Granit:
  - Variation der Urankonzentration

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Überführung der kompletten RES<sup>3</sup>T-Datensätze in die neue Tabellenstruktur

AP2: Entwurf weiterer Datenbank-Abfragen, Verbesserung Nutzerinterface

AP3: Kontinuierliche Erfassung, Auswertung und Dokumentation vorhandener und neuer Literatur

AP4: Weitere Batchversuche zur Sorption von Blei an Quarz, Muskovit und Feinsand: Konzentrationsabhängigkeit, Sorptionsisothermen  
Durchführung eines Säulenversuches mit Quarzsand:  
Bestimmung der Porosität mit Tritium  
Sorptionversuch mit Uran

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> DMT GmbH, Am Technologiepark 1, 45307 Essen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1154</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 88.492,50 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Klinger	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken SODA [GRS] und RES<sup>3</sup>T [FZR] zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES<sup>3</sup>T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)



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

AP1: Zusammenführung der Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T

- Test der ISDA-Oberfläche und Funktionalität (Dateneingabe)

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Auswertung des recherchierten Literaturbestandes
- Zuordnung der Datensätze und Aufbereitung der Literaturdaten zur Datenbankeingabe

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP1: Zusammenführung der Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T

- Test der ISDA-Datenbankstruktur bei der Dateneingabe unter Berücksichtigung heterogener Datensätze
- Erarbeitung von Vorschlägen zur Verbesserung Datenbanknutzung

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Dateneingabe in die ISDA-Datenbankstruktur
- Datenauswertung

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1164</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 31.12.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 316.057,50 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Brassler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken (SODA [GRS] und RES<sup>3</sup>T [FZR]) zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES<sup>3</sup>T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Zusammenführung der Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T

- Anpassung der SODA-Literaturbestände an die Erfordernisse der ISDA-Struktur

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Fortführung und wöchentliche Aktualisierung der bisherigen Recherchen mittels ScienceDirect
- Auswertung sämtlicher Rechercheergebnisse hinsichtlich Vorhabensrelevanz, Kontaminanten und Gesteins-/Mineralmatrices
- Wechselseitige Bereitstellung von Literatur; der überwiegende Teil der recherchierten Literatur liegt mittlerweile zentral als PDF-Datei und / oder Hardcopy vor

AP4: Experimentelle Schließung von Datenlücken

- Geochemische Modellrechnungen zur Modifizierung der für die Erstellung von Isothermen erforderlichen Konzentrationsstufen. Diese müssen in einem Bereich liegen, der oberhalb der sich mit natürlichem Gestein einstellenden Konzentration liegt und keine Ausfällungen erwarten lässt, um verwertet werden zu können.
- Konzeption eines Säulenversuches (mit FZD)

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Überführung von Testdaten und der SODA-Datensätze in die neue Tabellenstruktur

AP3: Kontinuierliche Erfassung, Auswertung und Dokumentation vorhandener und neuer Literatur sowie deren datenbankmäßige Erfassung

AP4: Abschluss der Batch- und Durchführung der Säulenversuche  
Aufbereitung der Daten für die datenbankmäßige Erfassung

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> EnviCon Dr. Veerhoff & Scherschel GdR, Staffelnegasse 15, 53347 Alfter		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1174</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-EnviCon)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 231.985,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Veerhoff	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken (SODA [GRS] und RES<sup>3</sup>T [FZR]) zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES<sup>3</sup>T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Zusammenführung der Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T

- Nach dem Fertigstellen der grundsätzlichen Datenbankstruktur wurden datenbankseitige Funktionen programmiert, die die Verwaltung des komplexen Zusammenspiels aus Versuchen und untersuchten chemischen Parametern automatisieren. Die Daten der SODA-Datenbank wurden in die ISDA-Datenbank migriert. Der Literaturbestand der SODA wurde nach struktureller Anpassung durch die GRS in die ISDA eingespielt.

AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces

- Die Funktionalität des Mockups erlaubt die Eingabe, Verwaltung und Pflege des Datenbestands nicht-thermodynamischer Untersuchungen. Das jetzt erstellte Frontend befindet sich in der offiziellen Testphase. Die hierbei eingehenden Vorschläge werden schon im Mockup übernommen und dieses sukzessive zum fertigen Produkt ausgebaut.

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Fortführung und Aktualisierung der bisherigen Recherchen
- Auswertung der Rechercheergebnisse hinsichtlich Vorhabensrelevanz, Kontaminanten und Gesteins-/Mineralmatrices
- Wechselseitige Bereitstellung von Literatur; der überwiegende Teil der recherchierten Literatur liegt mittlerweile zentral als PDF-Datei und / oder Hardcopy vor

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Die Daten der RES<sup>3</sup>T-Datenbank werden nach ISDA migriert. Die ursprünglich vorhandene Verschlagwortung der ISDA-Literatur nach Sorbenten und untersuchten Materialien soll in der ISDA-Datenbank neu umgesetzt werden. Als Lösung bietet sich eine Speicherung im XML-Format in der Datenbank an.

AP2: Sukzessive Überführung des rudimentären Mockups in das vollfunktionale Webfrontend. Aufbau des Verwaltungsteils für thermodynamische Daten. Verbesserung des administrativen Teils (Verwaltung von Eigenschaften, Optionen und deren Zuordnungen) im Webfrontend. Umsetzung eingehender Vorschläge aus der laufenden Testphase.

AP3: Kontinuierliche Erfassung, Auswertung und Dokumentation vorhandener und neuer Literatur sowie deren datenbankmäßige Erfassung.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastraße 27c, 80686 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1184</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.01.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 469.877,50 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kühnicke	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Erkundung und Bewertung der Auflockerungszonen um bereits existierende Hohlräume in bergmännisch genutzten Grubengebäuden sind vor allem bei der Vorbereitung des Einbaus von Verschlussbauwerken wichtige Voraussetzungen für detaillierte Planungen und qualifizierte Langzeitsicherheitsnachweise von Endlagern und Untertagedeponien.

Das Verbundvorhaben hat die Entwicklung und den In-situ-Test eines Messsystems aus aktiven akustischen und elektromagnetischen Verfahren zur hochauflösenden zerstörungsfreien Strukturerkundung und Kennwertermittlung in Saumzonen um Bergbauhohlräume zum Ziel. Dabei liegt der Schwerpunkt auf einer Detailerkundung der ersten Meter um einen Hohlraum herum, mit dem Ziel einer hohen räumlichen Auflösung. Das Vorhaben wird im Verbund mit der TU Ilmenau, Fachgebiet elektronische Messtechnik, durchgeführt, die den Einsatz eines Vielkanal-Breitband-Radarsystems für diese Aufgabe übernimmt (Förderkennzeichen: 02C1194).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Arbeitspunkt 1:* Modellrechnungen zur Ausbreitung akustischer Wellen in der gradienten Saumzone
- Arbeitspunkt 2:* Vorversuche im Labor und im Bergwerk zur Anpassung und Weiterentwicklung der Hardware und Auswahl der am besten geeigneten Messkonfiguration
- Arbeitspunkt 3:* Kombination der aktiven akustischen und elektromagnetischen Verfahren zur Charakterisierung des Auflockerungszustandes in der Saumzone, Datenverarbeitung und Entwicklung gemeinsamer Interpretationstechniken
- Arbeitspunkt 4:* Validierung der Messergebnisse des Verfahrenskomplexes an den Daten von Permeabilitäts- und Verformungsmessungen
- Arbeitspunkt 5:* Anwendung der aktiven Wellenverfahren zur Langzeitüberwachung bergbauinduzierter Auflockerung und Verformung des Gebirges
- Arbeitspunkt 6:* Auswertung und Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Arbeitspunkt 1:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.
- Arbeitspunkt 2:* Die Entwicklung eines bergbautauglichen Leistungsverstärkers mit den Parametern  $C_{\max}=10 \text{ nF}$ ,  $f_{\max}=200 \text{ kHz}$  und  $U_{\max}=400 \text{ Vpp}$  wurde abgeschlossen. Durch den gleichzeitigen Einsatz eines 40 dB-Vorverstärkers am Empfangs-Prüfkopf konnte eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses um 50 dB erreicht werden.
- Arbeitspunkt 3:* Die Interpretationstechniken zur gemeinsamen Datenverarbeitung von Sonar- und Radardaten wurden weiterentwickelt und auf die 2005 und 2006 in Maschinenstrecken der Gruben Sondershausen und Bernburg gewonnenen Daten angewandt. Mit diesen Bearbeitungstechniken konnte eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses erzielt werden. Damit wurde es möglich, kleinräumige Inhomogenitäten in der bergbauinduzierten Auflockerungszone sicher nachzuweisen.
- Arbeitspunkt 4:* Die Messergebnisse des Verfahrenscomplexes wurden an Daten von Durchlässigkeitsversuchen mit Gas und von Fracversuchen mit Öl und Gas kalibriert, die das Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau der TU BAF in der Grube Bernburg durchgeführt hat (Abschlussbericht 02 C 0527 6, April 2001).
- Arbeitspunkt 5-6:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die In-situ-Messungen sollen im Januar 2007 mit einer zweiten Messkampagne in der Maschinenstrecke der Grube Bernburg fortgeführt werden. Für diese Strecke wurde eine Spannvorrichtung zum Andrücken der Prüfköpfe an den Stoß entwickelt. An diesem Messort liegen Messergebnisse von Permeabilitäts- und Verformungsmessungen vor, die zur Validierung der Sonar- und Radar-Daten genutzt werden können. Gleichzeitig wird die Entwicklung methodenübergreifender Interpretationstechniken zur sicheren Charakterisierung des Auflockerungszustandes in der Saumzone fortgesetzt. Die bisherigen Ergebnisse des Forschungsvorhabens sollen am 8. März 2007 im Rahmen des 4. Fachgesprächs „Geophysik und Barriersysteme“ am Institut für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig vorgestellt werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Ilmenau, Ehrenbergstraße 29, 98693 Ilmenau		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1194</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthfrequenz-Radar		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.01.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 294.886,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Sachs	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel besteht darin, durch zerstörungsfreie und kontinuierlich arbeitende Untersuchungsmethoden Aussagen über den Auflockerungszustand oberflächennaher Salzgesteinschichten zu erhalten. Zur Sondierung werden sehr breitbandige elektromagnetische Wellen (Radar) eingesetzt, um eine hohe räumliche Auflösung und Detektierbarkeit von Gesteinsstörungen zu gewährleisten. Ausgangspunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist ein neuartiges Radarprinzip, dessen bisher schon hohe Bandbreite noch weiter vergrößert werden soll. Darüber hinaus sind geeignete Antennenanordnungen und Auswertelgorithmen zu finden, mit denen die gesuchten Gesteinsdefekte optimal detektiert werden können. Durch eine enge Kooperation mit einem Schwesterprojekt (IFZP Dresden) zur Ultraschallsondierung von Gesteinen und späterer Fusion der Akustik- mit den Radardaten soll die Aussagekraft und Zuverlässigkeit der Messungen erhöht werden. Die angestrebte Messmethode ermöglicht eine hochauflösende Beurteilung von Auflockerungen, für die zurzeit auch international noch keine erschöpfenden Lösungen existieren. Daraus resultiert ein hohes Marktpotenzial des Radarsystems sowohl für bergbauliche Aufgaben als auch für den Hoch- und Tiefbau.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Theoretische und experimentelle Analyse der Ausbreitungseffekte elektromagnetischer Wellen in der Saumzone von Hohlräumen im Salinar sowie dünnen Schichten in Luft
- Entwicklung, Bau und Test der Sensorelektronik
- Entwicklung, Bau und Test des Scanners und der Sensorelemente
- Messdatenverarbeitung und Parameterextraktion
- Validierung der Messergebnisse
- Langzeitüberwachung bergbauinduzierter Auflockerungen und Verformungen des Gebirges
- Auswertung und Abschlussbericht



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Aufbau und Integration des neuen Zylinderscanners
- Weiterentwicklung der Messsoftware unter Einbeziehung der neuen Geräte (Scanner, Radar)
- Messungskampagne 1: Maschinenstrecke in Bernburg; gemeinsam mit Akustikmessungen des IZFP, Test des neuen Scanners und der Erfahrungen aus den Hera-Messungen
- Endgültige Konzeption des 2. Radarkopfes: Bandbreitenerweiterung, integrierte automatische Kalibrierung, Messung aller 4 S-Parameter bei 2 Antennenports
- Entwicklung und Aufbau von festen und geschirmten Antennenarrays (Horn+Vivaldi)
- Messkampagne 2: Maschinenstrecke Sondershausen, Flächenmessung mit neuen Arrays
- Auswertung der Daten aus Bernburg, Begutachtung und Vorauswertung der Daten aus Sondersh.
- Auswahl von kleinen Hornantennen anhand der Messerfahrungen für den Bereich 2-18 GHz (abgestimmt auf neues Radarmodul).
- Auswahl geeigneter Komponenten für das Kalibriermodul des neuen Messkopfes

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fertigstellung der Auswertung bisheriger Messdaten, vor allem Flächenmessung Sondershausen
- Aufbau des zweiten Radarmoduls mit Überabtastung, Bandbreite >12 GHz und zugehörigem, Kalibriermodul, 4 Messkanäle für 2 Antennenports. Anpassung der Messsoftware für 4 Messkanäle.
- Integration von automatisierten koaxialen Kalibrierverfahren für Messungen mit 2 Antennenports in Hardware und Software
- Tests im Labor: weitere Messung an kleinen Inhomogenitäten/dünnen Spalten, Evaluierung Einstrahlwinkel/Reduktion Oberflächenreflex/Mehrfachreflexe/Clutter durch Kreuzpolarisation
- Weiterführung/Verfeinerung der Antennencharakterisierung; Nahfeldcharakterisierung, Abhängigkeiten von Abstand/Einstrahlwinkel; Antennenkalibrierverfahren
- Durchführung weiterer Experimente in Sondershausen und Bernburg (Maschinenstrecken)
- Radar-Datenverarbeitung
  - o Vorverarbeitung / Datenaufbereitung, Einbeziehung Antennencharakteristiken und Kalibrierung, zeitabhängige Verstärkung, Nutzung erhöhter Messbandbreite
  - o Evaluierung von interferometrischen und statistischen Verfahren
  - o Erstellung eines Detektions- und Charakterisierungskonzeptes
- Vergleich der Messdaten aus Sondershausen und Bernburg mit den Ergebnissen der Ultraschallmessungen des IZFP

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Stand der Entwicklung und Präsentation bisheriger Ergebnisse (Präsentationen zum Projekt-treffen zusammen mit dem Schwesterprojekt Ultraschall im IZFP Dresden)

<b>Zuwendungsempfänger:</b> GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG, Straße der Einheit 9, 06179 Teutschenthal		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1204</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit); Teil 2: Erprobung von Funktionselementen in situ		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2004 bis 31.12.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 4.434.956,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Knoll	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben schließt an das Vorhaben 02C0942 an. Es dient der Vervollständigung und großmaßstäblichen Verifizierung des dort erarbeiteten Grundkonzeptes und der dazugehörigen Bemessungsgrundlagen für die Errichtung von Streckendämmen in leichtlöslichen Salzgesteinen, insbesondere im Carnallit.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1 Planung eines Versuchsbauwerkes und seiner einzelnen Funktionskomponenten
- AP2 Auswahl der Einbaustandorte für die einzelnen zu untersuchenden Funktionselemente des komplexen Absperrbauwerkes
- AP3 Entwicklung eines interdisziplinären Messkonzeptes zum Nachweis der geplanten Eigenschaften der Dammbaumaterialien und des Umgebungsgesteins sowie ihres Verhaltens im Zeitverlauf; Funktionssicherung des Bauwerkes
- AP4 Untersuchungen zur Abdichtung der Kontaktzone und des unmittelbar daran anschließenden Gebirgsbereiches in der Einbauzone
- AP5 Labor- und In-situ-Untersuchungen zu den im Konzept (AP1) aufgeführten Verschlusselementen und Materialien
- AP6 Modellrechnungen für das Komplettbauwerk (Dammelemente, Fuge, ALZ, unverritztes Gebirge)
- AP7 Errichtung von Funktionselementen (Module)
- AP8 Konzipierung, Errichtung und Test geeigneter „Vorbau“-Elemente
- AP9 Messtechnische Kontrolle und Überwachung mit Vergleich der Messwerte mit den Berechnungsergebnissen zum geomechanischen und hydraulischen Verhalten
- AP10 Verarbeitung der Ergebnisse zu Prüfkriterien und Testanforderungen für Absperrbauwerke der untersuchten Kategorie
- AP11 Berichtsfassung und Dokumentation

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1 abgeschlossen  
 AP2 abgeschlossen  
 AP3 Das Messkonzept für den ersten Großversuch GV1 wurde fertig gestellt; die Sensoren und Messkomplexe wurden beschafft und in den Labors der beteiligten Institute vorbereitet und kalibriert. Ergänzend wurden die Voraussetzungen geschaffen, beim GV1 auch das TDR-Feuchte-Messverfahren aus dem Vorhaben 02C1064 zu erproben.  
 AP4 Die Untersuchungen zur Kontaktzone und des unmittelbar daran anschließenden Gebirges im Bereich der Einbauorte der Großversuche wurden fortgesetzt. Für die Behandlung der frisch freigelegten Carnallitoberflächen wurden Verfahren entwickelt (z. B. Trockenstrahlverfahren), die die Neuverwitterung dieser Flächen bis zum Einbau der Dammelemente deutlich reduzieren. Da die bergbauliche Zulassung für das ursprünglich vorgesehene Versiegelungsverfahren nicht erreicht werden konnte, musste auf das neue Verfahren ausgewichen werden. Das Verfahren wurde bereits beim GV1 angewendet.  
 AP5 Die Untersuchungen in speziellen Großbohrlöchern und unter geophysikalischer Kontrolle mit Materialien auf Gel-Basis mit Depotkomponente wurden fortgesetzt. Neue Erkenntnisse konnten im Zusammenhang mit der geoelektrischen Überwachung der Infiltration von Lösungen in das umgebende Gebirge gewonnen werden.  
 AP6 Die numerischen geomechanischen Modellberechnungen wurden für die konkreten Daten des GV1 präzisiert. Damit stehen diese Ergebnisse für die Steuerung des GV1 zur Verfügung. Neue Versuchsergebnisse über geomechanische Daten werden nach erfolgter Probengewinnung und –untersuchung noch in das Berechnungsmodell eingearbeitet.  
 AP7 Der Aufbau des Dammkörpers für den GV1 hat planmäßig begonnen. Dabei haben sich Probleme bei der MgO-Betonherstellung in situ ergeben, die noch zusätzliche Maßnahmen und Untersuchungen erfordern. Aus diesem Grunde kann noch keine Aussage über den Zeitpunkt des Belastungsbeginns des Versuchskörpers getroffen werden.  
 AP8 Planungen für die ersten in situ Versuche zum Vorbaulement sind erfolgt

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die weiteren Arbeiten sind auf die Fertigstellung des Betonkörpers und den zeitgleich erfolgenden Einbau der Messelemente für den GV1 gerichtet. Zum Berichtszeitpunkt waren die Belastungskammer des GV1 sowie das erste Dammelement fertig gestellt. Parallel zum Versuchsaufbau GV1 werden die experimentellen Untersuchungen zur Permeabilität des carnallitischen Gebirges im Bereich der Versuchsorte weitergeführt, erfolgt die Optimierung der MgO-Betonherstellung sowie weitere begleitende und vorbereitende experimentelle Untersuchungen von Einzelkomponenten werden durchgeführt. Die in situ Untersuchungen zum Vorbaulement auf geochemischer Basis werden technisch und konzeptionell vorbereitet, so dass sie im folgenden Berichtszeitraum durchgeführt werden können. Die Planungen für den GV2 werden fortgeführt und nach Fertigstellung des Betonkörpers des GV1 wird mit den Bauarbeiten zum der GV2 begonnen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Anlässlich des Erreichens des 1. Meilensteins zum Vorhaben wurden (1) ein schriftlicher State of the Art – Bericht herausgegeben und interessierten Fachkollegen übergeben und (2) ein Workshop zum erreichten Bearbeitungsstand organisiert und durchgeführt, an dem ca. 80 Fachkollegen teilnehmen. Die bisher erreichten Ergebnisse wurden zur Diskussion gestellt und aus der Erörterung wurden Anregungen übernommen. Einzelfragestellungen wurden auf weiteren Fachveranstaltungen vorgetragen und zur Diskussion gestellt (z. B. zum Dammbaumaterial MgO-Beton auf dem 35. Geomechanik-Kolloquium, Freiberg und zu messtechnischen Fragen auf dem Workshop zum Vorhaben 02C1064). Die Befahrung der Versuchsorte und der Workshop wurden von der Presse begleitet.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1214</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar - Hauptprojekt		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2005 bis 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 494.772,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Krauke	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Weiterentwicklung eines Barriersystems zu einem leistungsfähigen Verschlusselement im Salinar mit folgenden Zielsetzungen:

- Begrenzung des Kompaktionsvermögens des Baustoffs
- Verringerung der Permeabilität
- Untersuchungen zum Quellverhalten und einer gezielten Beeinflussung
- Untersuchungen zur Reduzierung der Abbinde temperatur
- Untersuchungen zu Druckfestigkeitsverlusten im In-situ-Versuch

Das Vorhaben wird auf der Basis der Zusammenarbeit durch folgende Institutionen bearbeitet:

- Kali-Umwelttechnik GmbH Sondershausen
- Bauhausuniversität Weimar
- Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das FuE-Projekt ist in 7 Arbeitsschritte gegliedert, die durch die Verbundpartner eigenständig zu bearbeiten sind:

AP1: Weiterentwicklung des lastabtragenden Systems	K-UTEC
AP2: Untersuchungen zur Beeinflussung des Quellverhaltens	K-UTEC
AP3: Modellhafte Untersuchungen	Bauhaus-Uni
AP4: Strukturuntersuchungen	Bauhaus-Uni
AP5: Untersuchungen der mechanischen Anforderungen und Eigenschaften eines Dichteelements	IfG Leipzig
AP6: Erprobung optimierter Systeme in einer kleintechnischen Versuchsanlage	K-UTEC
AP7: Versuchsauswertung, Abschlussbericht	alle Verbundpartner

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Den Schwerpunkt der Arbeiten bildete der Aufbau der zwei kleintechnischen Versuchsanlagen, die beide mit einer Lösungsdruckkammer ausgestattet sind.

Die kleintechnischen Versuchsanlagen sind wie folgt dimensioniert:

- Zylindrische Länge über alles: 2,26 m
- Rohrrinnendurchmesser: 1,00 m
- Rohrwandstärke: 10 mm
- Wandstärke der Kreissegmente: 20 mm
- Netzvolumen Dammelement: 1,6 m<sup>3</sup>
- Volumen Druckkammer: 78,5 l
- Rohrneigung: 2 Gr

Die Versuchseinrichtungen wurden mit Druck- und Temperaturlaufnehmern sowie mit Feuchteaufnahmesensoren und Dehnungsmesseinrichtungen bestückt. Darüber hinaus wurden die Erkenntnisse aus dem AP3 (Ausbildung von Sorelbinderphasen in Abhängigkeit von der Temperatur und einer optimalen Nutzung des Quellpotentials des Dammbaumörtels) berücksichtigt und zusätzlich eine Temperierung der Versuchseinrichtung auf 60 °C und eine entsprechende Wärmeisolierung vorgesehen.

Die Befüllung der Versuchseinrichtungen erfolgte mit einem quarzsandgestütztem (DBM2) und einem mit Steinsalz Körnung zubereitetem Mörtelsystem (DBM3). Der Befüllvorgang erfolgte chargenweise (60 l) mit einer Misch- und Verpumpanlage der Fa. Putzmeister, der Befüllvorgang war nach etwa 2,5 Stunden abgeschlossen. Die Dammbaumörtel haben sich selbstnivellierend ausgebreitet. Die Temperierung der Versuchseinrichtung wurde nach 3 Wochen eingestellt.

Die eingebauten Messgeber sprechen an, die Messwerterfassung läuft kontinuierlich. Die bisherigen Ergebnisse zeigen den erwarteten nach der thermischen Reaktion (Abbindeprozess) verbleibenden Einspannungszustand durch Quellen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Nach einer Standzeit von 28 Tagen wird die Lösungsdruckkammer mit MgCl<sub>2</sub>-Lösung (S 30-Lösung) befüllt und eine etwa 14-tägige Aufsättigungsphase eingeleitet.

Danach ist die Lösungsdruckbeaufschlagung geplant, die Lösungsdruckbeaufschlagungsanlage ist zur Zeit noch in Arbeit.

Die Kennwertermittlung zur Verbreiterung der Datenbasis (insbesondere zum Quellverhalten und zur Festigkeitsentwicklung in Abhängigkeit von der Standzeit in Lösung) wird kontinuierlich weitergeführt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Str. 8, 99423 Weimar		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1224</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar. Teilprojekt Bauhaus-Uni: Experimentelle Untersuchungen zur Struktur, dem Anbindeverhalten, der Kompressibilität und den volumetrischen Eigenschaften		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2005 bis 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 159.788,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Schanz	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben wird auf der Basis der Zusammenarbeit (siehe FKZ 02C1214) durch folgende Institutionen bearbeitet:

- Kali-Umwelttechnik GmbH, Sondershausen
- Bauhaus-Universität Weimar
- Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig

Die folgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf die Arbeitspakete 3 und 4.

Im Rahmen der Materialoptimierung der von der K-UTECH hergestellten Magnesiabinder bildet die Untersuchung der Materialeigenschaften (AP3) im Zusammenhang mit der Untersuchung der damit verbundenen Strukturen bzw. deren Änderungen (AP4) einen entscheidenden Beitrag zum Verständnis des komplexen konstitutiven Verhaltens (THMC-Kopplung).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

*Meilenstein 3: Modellhafte Untersuchungen.*

1. Entwicklung des Versuchskonzeptes
2. Modellhafte Untersuchungen zur Volumendehnung unter Berücksichtigung der thermischen Dehnung durch exotherme Abbindereaktionen und zeitlich versetzter Quellung (Schwellung)
3. Bestimmung des Quelldruckes
4. Porositäts- und Permeabilitätsuntersuchungen (Gas- und Lösungspermeabilität)

*Meilenstein 4: Strukturuntersuchungen.*

1. REM- und Mikrosondenuntersuchungen an den Ausgangsstoffen, insbesondere MgO (Gitterparameter)
2. SEM- und Mikrosondenuntersuchungen zur Aufklärung der Volumendehnung
3. Untersuchungen zum Phänomen der Nachquellung bei Lösungszutritt

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

Im Berichtszeitraum 07/2006 bis 12/2006 sind die experimentellen Untersuchungen an der Standardrezeptur (DBM1) und einer zweiten Rezeptur (DBM2) fortgeführt worden:

Die Versuche zur Ermittlung der Quelldruckverläufe bei den unterschiedlichen Temperaturen (20° C, 40° C und 60° C) für DBM2 sind begonnen worden. Des Weiteren sind die Versuche zur Bestimmung der Einaxialen Druckfestigkeit fortgeführt worden, sowohl bei DBM1 als auch DBM2, bei denen die Randbedingungen Temperatur und Lagerzeit variiert wurden. Die Versuche zur Ermittlung des Quellpotenzials (Verformung des Probekörpers in axiale und radiale Richtung sowie in ausschließlich axiale Richtung) als auch die Untersuchung des hydraulischen Materialverhaltens (Ermittlung der totalen Saugspannungen) unter den verschiedenen Randbedingungen sind für DBM1 und DBM2 fortgeführt bzw. begonnen worden.

Zur Untersuchung der Materialeigenschaften auf mikroskopischer Ebene sind die Versuche zur Ermittlung der Porenverteilung (Quecksilberporosometrie) an DBM1 sowie DBM2 fortgeführt worden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im folgenden Halbjahr ist geplant, die Versuche an der Standardrezeptur DBM1 sowie der zweiten Rezeptur DBM2 zum Abschluss zu bringen und das Vorhaben zu beenden.

Im Rahmen der Weiterentwicklung der Magnesiabinder werden daneben prinzipiell folgende weitere Untersuchungen zur konstitutiven Beschreibung der optimierten Rezeptur durchgeführt:

- (1) Aufsättigungs- und Trocknungsverhalten mit Lauge
- (2) Kompressibilität unter Berücksichtigung der Beanspruchung mit Lauge (Einfluss der Belastungsrichtung)
- (3) Zuarbeit zu den Technikumsversuchen & Auswertung der Feuchtemessungen.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1234</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar. Teilprojekt IfG: Untersuchungen der mechanischen Anforderungen und Eigenschaften		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2005 bis 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 183.188,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Salzer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Weiterentwicklung eines Barriersystems zu einem leistungsfähigen Verschlusselement im Salinar mit folgenden Zielsetzungen:

- Begrenzung des Kompaktionsvermögens des Baustoffs
- Verringerung der Permeabilität
- Untersuchungen zum Quellverhalten und einer gezielten Beeinflussung
- Untersuchungen zur Reduzierung der Abbinde temperatur
- Untersuchungen zu Druckfestigkeitsverlusten im In-situ-Versuch

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das FuE-Projekt ist in 7 Arbeitspakete gegliedert, die durch die Vertragspartner eigenständig zu bearbeiten sind:

- AP1: Weiterentwicklung des lastabtragenden Systems (K-UTEK)
- AP2: Untersuchungen zur Beeinflussung des Quellverhaltens (K-UTEK)
- AP3: Modellhafte Untersuchungen (Bauhausuniversität)
- AP4: Strukturuntersuchungen (Bauhausuniversität)
- AP5:** Untersuchungen der mechanischen Anforderungen und Eigenschaften eines Dichtelements (**IfG**)
- AP6: Erprobung optimierter Systeme in einer kleintechnischen Versuchseinrichtung (K-UTEK)
- AP7:** Versuchsauswertung, Abschlussbericht (alle Verbundpartner)



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

Ausgehend von der Rezeptur 29.6 (BarrierensystemASSE) wurde vom Verbundpartner K-UTEC eine Weiterentwicklung des Barrierenbaustoffs vorgenommen. Dabei wurden im Rahmen von Voruntersuchungen zum Steifigkeitsverhalten (erstes Halbjahr 2006) 2 Chargen (DBM 2, modifizierte Standardrezeptur und DBM 3, Rezeptur mit Steinsalz) für vertiefende Untersuchungen ausgewählt. An diesen Chargen wurden im 3. und 4. Quartal des Jahres 2006 Scher- und Zugfestigkeitsuntersuchungen der Kontaktflächen Steinsalz/Sorelbeton und Carnallit/Sorelbeton durchgeführt.

Im Ergebnis der Untersuchungen wurde eine gute Anbindung des Sorelbetons an das Salinar festgestellt. Für den Kontaktbereich Steinsalz/Sorelbeton beträgt die Kohäsion 1,2 bis 1,8 MPa und der Reibungswinkel  $52^\circ$  bis  $63^\circ$ . Die entsprechenden Werte betragen für den Kontaktbereich Carnallit/Sorelbeton 1,2 MPa bis 1,5 MPa (Kohäsion) und ca.  $35^\circ$  (Reibungswinkel). Im Ergebnis der Zugversuche wurden für den Kontaktbereich Steinsalz/Sorelbeton Zugfestigkeiten von 0,8 bis 1,5 MPa (Mittelwert 1,2 MPa) ermittelt, wobei die Proben in der Regel nicht im Kontaktbereich selbst, sondern im Steinsalz oder MgO-Beton versagt haben. Für den Kontaktbereich Carnallit/Sorelbeton wurden mit Werten zwischen 0,17 MPa und 0,46 MPa (Mittelwert 0,31) deutlich geringere Zugfestigkeiten als für die Kontaktfläche Steinsalz/Sorelbeton ausgewiesen. Die Proben versagten bei den Zugversuchen an der Kontaktfläche Carnallit/Sorelbeton meistens direkt im Kontaktbereich.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im ersten Quartal 2007 sind Laboruntersuchungen zur Ermittlung der physikalischen Eigenschaften, der Steifigkeit und der Festigkeit des kompakten Sorelbetons geplant. Die Prüfkörper für diese Untersuchungen werden zum einen aus den Technikumsbauwerken selbst, und zum anderen aus Rückstellproben, die während der Herstellung der Technikumsbauwerke betoniert wurden, gewonnen.

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1244</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Prognose der Redoxeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2005 bis 31.03.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 748.135,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Hagemann

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die sichere Prognose der Redoxeigenschaften ist eine wesentliche Voraussetzung zur Vor-ausberechnung der im Falle eines hydrologischen Störfalles zu erwartenden Schwermetall- und Radionuklidkonzentrationen im Nah- und Fernfeld einer untertägigen Entsorgungseinrichtung. Ziel des Vorhabens ist es Methoden zu entwickeln, mit denen sich die Redoxeigenschaften insbesondere salinärer Lösungen verlässlich messen und auch voraussagen lassen. Hierzu werden zum einen analytische Methoden entwickelt, zum andern aufbauend auf experimentellen Untersuchungen ein Modell zur Voraussage der Speziation von Eisen in salinaren Lösungen und zur Löslichkeit eisenhaltiger Festphasen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Entwicklung eines verlässlichen Messverfahrens zur Bestimmung des Redoxpotentials salinärer Lösungen
- Entwicklung eines Verfahrens zur Messung von Wasserstoffkonzentrationen in salinaren Mischlösungen
- Verfahrensvalidierung
- Bestimmung der Speziation von Eisen(II) und Eisen(III) in salinaren Lösungen
- Untersuchung der thermodynamische Stabilität eisenhaltiger Minerale

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum erfolgte eine weitere Absicherung der Messungen zur Bestimmung des Zusammenhanges zwischen „scheinbarem pH-Wert“ und der tatsächlichen Wasserstoffionenkonzentration. Statistisch qualifizierte mathematische Zusammenhänge liegen jetzt für Lösungen von NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> und CaCl<sub>2</sub> vor. Sie stimmen, soweit frühere Untersuchungen vorlagen gut mit diesen vergleichen. Außer bei NaCl ist es nicht möglich den Zusammenhang durch einfache lineare Beziehungen abzubilden, insbesondere bei höher konzentrierten Lösungen von MgCl<sub>2</sub> und CaCl<sub>2</sub> (3-6 mol/kg) treten zusätzliche Effekte auf, die quadratische oder gar kubische Terme erfordern. Die Abweichung zwischen dem scheinbaren pH und dem negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoffkonzentration ( $-\log c_{H^+}$ ) betragen hier 2-3 pH-Einheiten. Damit ist es für diese Systeme nun möglich, die tatsächliche Wasserstoffkonzentration mit Hilfe einer konventionell kalibrierten pH-Elektrode zu messen.

Fortgesetzt wurden die UV-spektroskopischen Messungen an eisen(III)haltigen Lösungen der Salze NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> und CaCl<sub>2</sub>. Gegenüber den bisher vorliegenden Daten ergaben sich keine qualitativen Änderungen. Die quantitative Auswertung erfolgt im kommenden Berichtszeitraum nach Vorliegen aller Messreihen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fortführung der spektroskopischen Messungen in chloridhaltigen Lösungen. Bestimmung der Hydroxokomplexbildung von Fe(III) in salinaren Lösungen im pH-Bereich 1 bis 13.

Abschluss der Untersuchung der Abhängigkeit der Messspannung von pH-Einstabelektroden von der Hintergrundsalzkonzentration: sulfathaltige Lösungen und Mischlösungen mehrerer Salze.

Inbetriebnahme des Kapillar-UV-Spektrometers. Entwicklung eines Verfahrens zur Messung von Fe(II)- und Fe(III)-Konzentrationen im Subnanomolar-Bereich.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1254</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2005 bis 30.09.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 664.920,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Brassler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen der Stilllegung einer Untertagedeponie müssen Maßnahmen durchgeführt werden, die einen sicheren Abschluss der abgelagerten Abfälle vom Biozyklus gewährleisten. Unterschiedliche Barriersysteme können aufgrund ihrer hydraulisch-chemischen Eigenschaften wesentliche Beiträge zur Schadstoffrückhaltung leisten. Laboruntersuchungen sollen den Einfluss der Umgebungsbedingung (anaerob/aerob) auf die Oxidationsspeziationen redoxsensitiver Elemente bestimmen. Dazu ist vorgesehen, die geochemischen Gleichgewichte zu identifizieren, welche die Konzentrationen der Schwermetalle unter anaeroben Bedingungen bestimmen, und welche redoxpuffernden Zuschlagstoffe zur Fixierung von Schwermetallen beitragen können. So soll der Schwermetallgehalt von eluierten Abfallproben (anaerob) identifizierten redoxsensitiven Phasen zugeordnet werden. Untersuchungen, welche die Reaktionsmechanismen von Schwermetallen unter anaeroben UTD-Bedingungen aufklären können, stellen eine wesentliche Grundlage zur Beurteilung der Mobilität von schädlichen Abfallinhaltsstoffen dar, aus denen sich technische Maßnahmen zur Verbesserung der Langzeitsicherheit untertägiger Deponiesysteme ableiten lassen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Übersichts-Screening

AP2: Detailuntersuchungen ausgewählter Systeme mit Analyse von Reaktionsmechanismen

AP3: Ableitung redoxpuffernder Zuschlagstoffe

AP4: Begleitende geochemische Modellierung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP1: Übersichts-Screening

- Abschließende Auswertung der Elutionsversuche mit insgesamt 14 verschiedenen Abfallarten
- Alle für die Untersuchungen ausgewählten Abfallarten weisen - in Abhängigkeit von den aeroben/anaeroben Versuchsbedingungen - signifikante Unterschiede im Redoxmilieu der resultierenden Eluate auf
- Die unterschiedlichen eingesetzten Lösungen (Grundwasser, saline Lösung) resultieren ebenfalls in einem deutlich differenzierten Redoxmilieu
- Unterschiede in den Elementgehalten der Eluate werden von den jeweiligen Lösungen (Grundwasser, saline Lösung) dominiert. Einflüsse des Redoxmilieus treten demgegenüber zurück und weisen kein einheitliches Muster auf

#### AP2: Detailuntersuchungen ausgewählter Systeme mit Analyse von Reaktionsmechanismen

- Inbetriebnahme einer neuen ICP
- Inbetriebnahme der Laser-Ablations-Apparatur
- Einstellungsverhandlungen sowie Verhandlungen mit der TU-Braunschweig bzgl. einer Unterauftragsvergabe im Rahmen dieses Vorhabens (in Kombination mit dem Vorhaben Redoxprognose)

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### AP1:

- Auswahl geeigneter Systeme für Detailuntersuchungen mit Analyse von Reaktionsmechanismen

#### AP2:

- Oxidationszustände ausgewählter redoxsensitiver Elemente
- Bindungsform von Schwermetallen in bestimmten Abfallphasen
- Analyse von Reaktionsmechanismen

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1264</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salinarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2005 bis 30.06.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 627.883,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Minkley	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit Auffahrung einer Wetterstrecke über dem Gebirgsschlagfeld von 1996 in der Grube Teutschenthal sind die Voraussetzungen für Untersuchungen der Schädigungsauswirkungen in der das Bruchfeld umgebenden hangenden Salinarbarriere gegeben. Neben den experimentellen In-situ- und Laboruntersuchungen sind Arbeiten zur Vervollständigung der Schädigungsmechanik und gebirgsmechanische Berechnungen zur Dimensionierung von Salinarbarrieren vorgesehen. Im Ergebnis des Beweissicherungsprogramms lässt sich eine Sicherheit gegenüber einem Integritäts- und Dichtheitsverlust von Salinarbarrieren ausweisen, die letztendlich auf Versuchen im Maßstab 1:1 unter extremen dynamischen Beanspruchungen basiert, die um ein Vielfaches höher sind als quasi statische Beanspruchungen. Die Forschungsergebnisse sollen zu einer Dimensionierungsrichtlinie für Salinarbarrieren zur Gewährleistung eines dauerhaften, dichten Einschlusses unter den anthropogenen und geogenen Randbedingungen in der flachen und steilen Lagerung führen und somit für eine praktische Umsetzung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen zur Verfügung stehen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Vervollständigung der Schädigungsmechanik
- AP2: In-situ-Untersuchungen zu den Schädigungsauswirkungen in der Salinarbarriere nach starker dynamischer Beanspruchung
- AP3: Laboruntersuchungen zu den Schädigungsauswirkungen an gewonnenen Bohrkernproben aus der dynamisch beanspruchten Salinarbarriere
- AP4: Geomechanische Berechnungen zur Dimensionierung von Salinarbarrieren für ein Endlager in der flachen und steilen Lagerung
- AP5: Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie für die erforderliche Mächtigkeit von Salinarbarrieren zur Erlangung des dauerhaften Einschlusses
- AP6: Erarbeitung des Abschlussberichtes und Dokumentation der Ergebnisse.

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

- AP1: Weiterentwicklung der nicht-lokalen Version des visko-elasto-plastischen Stoffmodells. Gegenstand der Testrechnung waren der Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit, der Radius des nicht-lokalen Einflussbereiches, die Anzahl der erforderlichen zusätzlichen Rechenschritte und die nicht-lokalen Parameter charakteristische Länge und Entfestigungsmodul. Bei Zugbeanspruchung sind die Berechnungsergebnisse mit der getesteten nicht-lokalen Erweiterung netzunabhängig. Bei Druckbeanspruchung ist die Lokalisierung der Deformationszonen bei Verwendung einer linearen Version des visko-elasto-plastischen Stoffmodells ebenfalls netzunabhängig.
- AP2: Herstellung von 10 weiteren Sondierungsbohrungen im Leine-Steinsalz über dem Bruchfeld von 1996 und Durchführung von 20 Frac-Messungen. Die bisher gemessenen minimalen Hauptspannungen in der hangenden geologischen Steinsalzbarriere über dem Bruchfeld liegen 10 Jahre nach dem Kollaps des Ostfeldes noch unter dem Teufendruck. Es deutet sich die Tendenz an, dass über dem Bruchfeld im Leine-Steinsalz eine geringere Einspannung vorliegt und im Abbauvorfeld eine etwas höhere.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP1 Weiterentwicklung der nicht-lokalen Version des visko-elasto-plastische Stoffmodells für Druckbeanspruchungen im nichtlinearen Bereich.
- AP2 Herstellung der 20 Sondierungsbohrungen im Leine-Steinsalz und Durchführung weiterer Frac- und Permeabilitätsmessungen.
- AP3 Herstellung von Kernbohrungen im Leine-Steinsalz und Gewinnung von Bohrkernproben für die Laboruntersuchungen.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1275</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt TUC: Gekoppelte Modellierung des C:HM Verhaltens von selbstverheilendem Salzversatz		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2005 bis 30.04.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 257.176,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Hou	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Dieses Verbundprojekt verfolgt das Ziel, Programme für das HM-Verhalten von Salz und Bentonit (*FLAC3D* und *GeoSys/RockFlow*) mit geochemischen Modellberechnungen (*CHEMAPP* über *EQLink*) zu koppeln und Ergebnisse von gekoppelten Berechnungen anhand geeigneter Laborversuche an Vollprüfkörpern und an axialgelochten Großbohrkernen zu testen. Das Forschungsprojekt ist ein gemeinsames Vorhaben der GRS sowie der Universitäten Clausthal und Tübingen. Als Endergebnis des Teilprojektes wird ein numerisches Modell zur Untersuchung von Abschlussbauwerken mit SVV als Dichtelement mit Berücksichtigung der C:HM-Kopplung sowie der Wechselwirkungen zwischen Auflockerungszonen und Abschlussbauwerken zur Verfügung stehen. Ferner wird durch die enge Zusammenarbeit in einer gemeinsamen Programmentwicklung eine langfristige wissenschaftliche Kooperation angestrebt. Die numerischen Algorithmen für die Modellierung mechanischer Prozesse in tonigen und salinaren Medien sind methodisch sehr ähnlich. Daher ist ein weiteres Ziel dieses Teilprojektes eine Vereinheitlichung der Methoden zur Simulation inelastischer Deformationsprozesse in chemisch reaktiven Systemen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Kurzzeitversuche an ausgehärteten SVV Vollprüfkörpern
- AP2: Kompressionsversuche unter isostatischen Dauerbelastungen und bei unterschiedlichen Temperaturen ( $T = 25^\circ$  und  $80^\circ$ )
- AP3: Kriechversuche bei einem konstanten Manteldruck von  $\sigma_3 = 5$  MPa und bei unterschiedlichen Temperaturen ( $T = 25^\circ$  und  $80^\circ$ )
- AP4: Entwicklung eines neuen Stoffmodells für SVV zur Beschreibung des langfristigen Kompaktions- und Kriechverhaltens des SVV nach dem Aushärtungsprozess
- AP5: Modellentwicklung zur Beschreibung der Änderung von Porositäten und Permeabilitäten infolge mechanischer Kompaktion
- AP6: Implementierung des zu entwickelnden Stoffmodells für SVV ins FEM-Programm *FLAC3D*
- AP7: Implementierung der zu entwickelnden Porositäts-Permeabilitäts-Beziehung für SVV ins FEM-Programm *FLAC*



- AP8: Implementierung der Schnittstelle zwischen *FLAC3D* und *CHEMAPP* über *EQLink* und Anpassung numerischer Verfahren für C:HM-Modelle
- AP9: Überprüfung numerischer Modelle anhand von Versuchsergebnissen der GRS an Vollprüfkörpern und gelochten Großbohrkernen
- AP10: Modellierung des von der GRS in ASS durchzuführenden SVV-In-Situ-Versuches
- AP11: Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Um qualitativ höherwertigere Prüfkörper herzustellen wurde ein neues Konzept für Zellen mit einem Aufbau aus zwei Halbschalen entwickelt. Wie im Aufstockungsantrag vom 17. März beschrieben wurden zehn dieser Zellen in eine Anlage eingebaut um eine simultane Herstellung von bis zu zehn Prüfkörpern zu ermöglichen. Seit dem vierten Quartal 2006 werden mit dieser Anlage Prüfkörper hergestellt.

ChemApp wurde über EQLink erfolgreich in das FEM Programm MISES III implementiert. Ein Vergleich zwischen einer Simulation mit einer homogenen und inhomogenen Flutung hat gezeigt, dass die Berechnungen mit homogener Flutung die Realität nur unzureichend wiedergeben. Auch die experimentellen Erfahrungen der GRS zeigen, dass Aufsättigung und Aushärtung keine homogenen Prozesse sind. Ursache hierfür ist, dass die Lösung bei der Aufsättigung ihre Zusammensetzung ändert und dabei Versatzmaterial transportiert. Um den inhomogenen Aufsättigungsprozess simulieren zu können wurden Vorarbeiten zur Integrierung von ChemApp über EQLink in das FDM Programm FLAC3D getätigt.

Für die Entwicklung eines Stoffmodells für SVV heißt dies außerdem, dass Modelle von Spritzbeton, der einen homogenen Aushärtungsprozess zeigt, nicht herangezogen werden können.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im Jahr 2007 werden weiter Prüfkörper aus SVV mit NaCl-Lösung in Clausthal hergestellt. In ersten Kurzzeitversuchen werden die festigkeitsmechanischen Materialparameter und ihr Streubreitenband ermittelt. Anschließend erfolgt die Bearbeitung der AP1 bis AP3:

- AP1: Kurzzeitversuche an ausgehärteten SVV-Vollprüfkörpern
- AP2: Kompressionsversuche unter isostatischen Dauerbelastungen
- AP3: Kriechversuche bei einem konstanten Manteldruck

Zusätzlich zu dem im Projektantrag vorgesehenen Programm wird an den ausgehärteten SVV Prüfkörpern die Porosität und exemplarisch die Permeabilität gemessen werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1285</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt GRS: Laborversuche und Geochemische Modellierung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2005 bis 30.04.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 508.179,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Moog	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die aktuell in der Entwicklung befindlichen Programme für die Modellierung hydraulischer und mechanischer Prozesse in Salz-/Bentonit-Barrieren MISES III (TUC) und GeoSys/RockFlow (ZAG) sollen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen gekoppelt und anhand geeigneter experimenteller Untersuchungen getestet werden (C:HM-Modellierung).

Dieses Teilprojekt:

- Gewinnung von Messdaten für die Überprüfung von Modellergebnissen der Programme MISES III und ROCKFLOW
- Anpassen der Schnittstelle EQLINK an die Erfordernisse von MISES III und ROCKFLOW

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

#### AP1: Salz

- AP1.1: Stahlrohr: SVV+Q-Lauge/NaCl-Lösung
- AP1.2: Bohrkern: SVV+Q-Lauge
- AP1.3: Probenherstellung für TUC

#### AP2: Bentonit

- AP2.1: Einfluss der Ionenstärke
- AP2.2: Einfluss des pHs
- AP2.3: Einfluss des Ionenaustausches  $\text{Na} \leftrightarrow \text{Ca}$
- AP2.4: Einfluss von Ausfällungen im Porenraum

#### AP3: EQLINK

- AP3.1: Anpassung an MISES III und ROCKFLOW
- AP3.2: Modellierung des Ionenaustausches
- AP3.3: Auswertung von Rechenläufen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1.1: Prüfkörperherstellung mit SVV/angefärbte NaCl-Lösung. Untersuchung des Phasenbestandes. Röntgendiffraktometrisch zeigt sich eine homogene Verteilung verschiedene  $\text{MgSO}_4$ -Hydrate in den drei Abschnitten, die aus dem Probekörper hergestellt wurden. Es bildete sich ein bevorzugter Fließpfad aus, der vollständig mit NaCl ausgefüllt war.

AP1.3: Weitere Herstellung von Prüfkörpern für TUC. Röntgendiffraktometrisch konnte gezeigt werden, dass die für TUC und die für eigenen Untersuchungen hergestellten Probekörper vergleichbar sind.

AP2.1: Die Wiederholung des Versuches läuft.

AP2.3: Der Versuch läuft, die austretende Lösung wird beprobt.

AP2.4: der Versuch wurde abgebrochen, da eine Dichtung ausfiel. Eine Wiederholung dieses Versuches ist nicht vorgesehen, da die durch den hohen pH-Wert induzierte massive Schädigung des Tonmaterials eine vernünftige Auswertung nicht zulässt. Um die gekoppelten Effekte von Ionenaustausch und Ausfällung im Porenraum untersuchen zu können, werden die Randbedingungen dieses Versuches modifiziert.

AP3.1: Die von ZAG aus einem Fortran-Programm von GRS erstellte C++-Version von EQLINK wurde verkürzt und hinsichtlich der Einbindung in ROCKFLOW optimiert (Optimierung von Schleifen, Eliminierung unnötiger Aufrufe einzelner Unterroutinen, Dokumentation des Quellcodes. Testrechnungen mit SVV und Bentonit wurden durchgeführt. Das Ziel einer allgemeinen Verwendbarkeit von EQLINK konnte wegen personeller Änderungen bei ZAG noch nicht umgesetzt werden (Verschiebung von Unterroutinen aus EQLINK in den Quellcode von ROCKFLOW).

AP3.1: Es fanden noch keine Anpassungsarbeiten von EQLINK an FLAC statt.

AP3.2: Es wurde ein sehr einfaches Modell für die Implementierung von Ionenaustausch in CHEMAPP erstellt. Dieses erfordert keine Änderung des Quellcodes von CHEMAPP, sondern beruht einzig auf einer Modifizierung der verwendeten Parameterdatei, die unterschiedlich belegte Tone als Endglieder einer festen, idealen Mischphase darstellt. Derzeit ist noch nicht klar, wie weit dieses Konzept tragen wird, und ob nicht doch eine Änderung des Quellcodes von CHEMAPP erforderlich sein wird.

AP3.3: Es wurden verschiedene Testfälle durchgerechnet, Ergebnisse wurden publiziert.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fortführung von AP1.2, 1.3, 2.1, 2.3.

Vorbereitungen für den Bohrkernversuch (AP1.3).

Neuansatz von AP2.4: Es ist geplant, einen Ca-belegten Ton mit Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Lösung zu durchströmen. Durch Gips-Ausfällung im Porenraum könnte der erwünschte Effekt studiert werden, ohne die massiven Schädigungen des Tones durch eine hoch-alkaline Lösung in Kauf nehmen zu müssen.

AP3.1: Abgestimmte Änderungen an ROCKFLOW (ZAG) und EQLINK(GRS), die eine Entflechtung, Beschleunigung und Flexibilisierung der bestehenden Kopplung zum Ziel haben.

AP3.2: Fortsetzung der Arbeiten zur Einbindung von Ionenaustausch-Reaktionen in Rechnungen mit CHEMAPP.

AP3.3: Weitere Durchführung von Testrechnungen, u. a. bezgl. der Einbindung von Zerfallsketten von Radionukliden.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Mingliang Xie, Helge C. Moog, Wenqing Wang, Horst-Jürgen Herbert, Hua Shao and Olaf Kolditz (2007): Reactive transport modelling in salt material based on Gibbs energy minimization, eingereicht für Sixth Conference on the Mechanical Behavior of Salt, BGR, 22.-25.5.2007,

[http://www.bgr.bund.de/cln\\_029/EN/Themen/Geotechnik/Saltmech6/saltmech6\\_node\\_en.html\\_nnn=true](http://www.bgr.bund.de/cln_029/EN/Themen/Geotechnik/Saltmech6/saltmech6_node_en.html_nnn=true)

F. Werunsky, Z. Hou, H. C. Moog (2007): Coupled modelling of the C: HM behaviour of self healing salt based backfill, eingereicht für Sixth Conference on the Mechanical Behavior of Salt, BGR, 22.-25.5.2007,

[http://www.bgr.bund.de/cln\\_029/EN/Themen/Geotechnik/Saltmech6/saltmech6\\_node\\_en.html\\_nnn=true](http://www.bgr.bund.de/cln_029/EN/Themen/Geotechnik/Saltmech6/saltmech6_node_en.html_nnn=true)

Mingliang Xie, Helge C. Moog, and Olaf Kolditz (2007): Geochemical Effects on Swelling Pressure of Highly Compacted Bentonite: Experiments and Model Analysis, eingereicht für 2nd International Conference on Mechanics of Unsaturated Soils, Weimar, 7.-9.3.2007

<http://www.dur.ac.uk/~des0www4/unsaturated/conferences/2007.html>

C. I. McDermott, Georg Kosakowski, Ralph Mettier, H. C. Moog, O. Kolditz (2007): Geomechanical facies concept and the application of hybrid numerical and analytical techniques for the description of htmc coupled transport in fractured systems, eingereicht für Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 22-24, 2007

<http://ekofisk.stanford.edu/geoth/workshop2007.htm>

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstr. 7, 72074 Tübingen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1295</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt Uni Tübingen: Validierung Numerischer Modelle für geochemische Prozesse in geotechnischen Dichteelementen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2005 bis 30.04.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 233.598,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Kolditz	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Verbundvorhabens ist es, aktuell in der Entwicklung befindliche Programme für die Modellierung hydraulischer und mechanischer Prozesse in Salz-/Bentonit-Barrieren MISES III (TUC) und GeoSys/ RockFlow (ZAG) mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen zu koppeln und anhand geeigneter experimenteller Untersuchungen zu testen (C:HM-Modellierung).

Dieses Teilprojekt wird sich schwerpunktmäßig mit geochemischen Reaktionen in tonartigen Materialien beschäftigen. Insbesondere geht es um die Einwirkung chemischer Prozesse auf hydro-mechanische Phänomene, wie z. B. Alterationen des Porenraums und damit einhergehende Veränderungen hydraulischer Eigenschaften. Die Kopplung chemischer mit hydro-mechanischen Prozessen soll durch die programmtechnische Verknüpfung der Codes EQLink und GeoSys/RockFlow (GS/RF) erfolgen. Durch die Entwicklung dieser Programmchnittstellen kann zum Einen die Expertise beider Gruppen auf den Gebieten Geo-Chemie und Hydromechanik zusammengeführt werden. Ferner wird durch die enge Zusammenarbeit in einer gemeinsamen Programmentwicklung eine langfristige wissenschaftliche Kooperation angepeilt. Die numerischen Algorithmen für die Modellierung mechanischer Prozesse in tonigen und salinaren sind methodisch sehr ähnlich, daher ist die zweite Zielstellung dieses Teilprojektes eine Vereinheitlichung der Methoden zur Simulation inelastischer Deformationsprozesse in chemisch reaktiven Systemen (Zusammenarbeit mit TUC).

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Arbeitsprogramm besteht aus drei aufeinander aufbauenden Arbeitspaketen: Modellentwicklung (AP1), Softwareentwicklung (AP2), Modellanwendung auf experimentelle Daten der Projektpartner (Modellvalidierung) (AP3) sowie der abschließenden gemeinsamen Veröffentlichung der wichtigsten Projektergebnisse (AP4).

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nachdem in der vorangegangenen Projektphase die softwaretechnische Umsetzung der Schnittstelle GS/RF+ChemApp zwischen GeoSys/RockFlow und dem geochemischen Simulator ChemApp realisiert worden ist (AP2), wurden in dieser Projektphase erste Anwendungsstudien erar-

beitet. Mit der Kopplung zu ChemApp ist GS/RF nun in der Lage, reaktive Transportprozesse unter extremen PTC-Bedingungen (hohe Drücke, Temperaturen, Salinitäten) zu simulieren.

- Auf Wunsch der Projektpartner wurde die GS/RF+ChemApp-Schnittstelle gekapselt und steht damit auch anderen Programmen zur Verfügung (Xie et al. (2006a)),
- Verifizierung reaktiver Transportmodelle im Rahmen der DECOVALEX Initiative (int. Benchmarking-Projekt) (Xie et al. 2006b),
- Simulation von Quelldruck und reaktiven Prozessen in kompaktierten Bentoniten (FEBEX type repositories) (Xie et al. 2006c),
- Untersuchung des Einflusses geochemischer Prozesse auf das Quelldruckverhalten anhand eines GRS Datensatzes (Xie et al. 2006d),
- Zusätzlich zum geplanten Arbeitsprogramm wurde in enger Kooperation mit der GRS das neue Programm GS/RF+ChemApp für die Modellierung von Lösungs- und Kristallisationsprozessen getestet (Salzchemie) (Xie et al. 2006d) sowie Temperatureffekte untersucht (McDermott et al. 2006).

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

In der nächsten Projektphase sind folgende Arbeitsschritte geplant:

- Weitere Verifizierung/Validierung von GS/RF+ChemApp durch Testbeispiele aus dem internationalen DECOVALEX Vorhaben,
- Anwendung von GS/RF+ChemApp für Fragestellungen im Salinar, insbesondere die Modellierung von Magnesium-Sulfat als Verschlussmaterial,
- Temperatureffekte: Bei exothermen Kristallisationsprozesse entsteht eine erhebliche Reaktionswärme. Diese thermischen Effekte sollen bei H-MC Prozessen berücksichtigt werden.
- Alternative Entwicklung einer Schnittstelle zu Vergleichszwecken zum Geochemiesimulator GEMS (Paul-Scherrer-Institut), der im Bereich Nuklid-Chemie sehr gut ausgewiesen ist. Zur Verbesserung der Effizienz und Genauigkeit geochemischer Simulationen ist eine zusätzliche Doktorarbeit geplant.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Xie M, Moog H and Kolditz O (2006a): Implementation of the GeoSys/RockFlow-ChemApp coupling interface. GeoSys-Preprint [2006-12], Center for Applied Geosciences, University of Tübingen, GRS Braunschweig.

Xie M, Sonnenthal E, Wang W, Kolditz O, Birkholzer J T, Rutqvist J, Oda Y and Chijimatsu M. (2006b): Geochemical predictions for a hypothetical repository located in crystalline rock - comparative evaluation of different research teams results. Geoproc2006, Nanjing, China.

Xie M, Wang W, de Jonge J and Kolditz O (2006c): Numerical modelling of swelling pressure in unsaturated expansive elasto-plastic porous media. Transport in Porous Media, vol. 66 (3), DOI 10.1007/s11242-006-0013-0.

Xie M, Moog H and Kolditz O (2006d): Geochemical effects on swelling pressure of highly compacted bentonite: Experiments and model analysis. Int Conference Mechanics of Unsaturated Soils, 07-09.03.2007, Weimar (accepted paper).

Xie M, Moog H, Wang W, Herbert H-J, Shao H and Kolditz O (2006e): Reactive transport modelling in salt material based on Gibbs energy minimization. 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt: Understanding of the THMC Processes in Salt Rocks, 22-25.05.2007, Hannover (accepted paper).

McDermott C I, Xie M, Kosakowski G, Mettier R, Moog H and Kolditz O (2006): Geomechanical facies concept and application to the description of THMC coupled processes in fractured rock. Proceedings of 32. Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, January 22-24, 2007, SGP-TR-183.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Leipzig, Ritterstr. 26, 04109 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1305</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteeinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt Uni Leipzig: Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2005 bis 31.05.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 579.486,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Jacobs	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für die Detektion und Charakterisierung von Problemzonen in der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponien liegt in Ansätzen ein komplexes Mess- und Auswerteeinstrumentarium vor, das in Ausgangsvorhaben (02C0558, 02C0568, 02C0578 und 02C0851, 02C0861, 02C0871) entwickelt wurde.

Das Ziel des aktuellen Vorhabens ist die Schaffung eines universellen integrierten geophysikalisches Mess- und Auswerteeinstrumentariums, das unter den allgemeinen Bedingungen der Entsorgung im Salinalgestein einsetzbar ist. Im Vorhaben werden geoelektrische und seismische Verfahren sowie spezielle Methoden der Salzgeologie - gekoppelt mit den in den Parallelvorhaben "-Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen (02C1315) und "-Sonarverfahren" (02C1325) bearbeiteten Verfahren - an verschiedenen Standorttypen in Verbindung mit Computermmodellierungen eingesetzt. Damit wird ein geophysikalischer Beitrag zur Erkennung, Bewertung und Behandlung von geologisch bedingten Problemen bei der untertägigen Entsorgung geleistet.

Die Ergebnisverwertung umfasst Patentrecherchen, Handlungsempfehlungen, marktfähige Dienstleistungsangebote und Lizenzvergabemodelle. Gegenstand des Vorhabens ist die Einbindung geoelektrischer und seismischer Verfahren in das Verbundvorhaben.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Identifizierung und Charakterisierung der Referenzstandorte
2. Messungen an den Referenzstandorten
3. Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter im Labor und in situ
4. FEM-Modellierungen, Szenarienanalyse zur geophysikalischen Erkundung an verschiedenen Standorttypen und geophysikalischer Beitrag zur Problembehandlung
5. Weiterentwicklung des komplexen Mess- und Auswerteeinstrumentariums, Handlungsempfehlungen, Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am Bergwerksstandort Teutschenthal-Angersdorf wurden im Juli die geoelektrischen Messungen im Bereich eines bekannten Laugenzutrittes wiederholt und erweitert. Die zwischenzeitliche Installation eines Lüfters und zweier Schleusentore erschwerte die Messbedingungen. Die Ergebnisse zeigen gegenüber den früheren Messungen insgesamt ein Absinken der spezifischen elektrischen Widerstände, insbesondere im westlichen Profilteil. Der Lüfter verursachte in den geoelektrischen Signalen eine

deutliche 40 Hz Störung. Neben dem Nutzsignal wurden zudem starke Störsignale durch Bahnstrom mit einer Frequenz von  $16 \frac{2}{3}$  Hz gemessen.

Im November 2006 erfolgten auf einem 400 m langen Profil am gemeinsamen Referenzstandort in der neu aufgefahrenen Verbindungsstrecke zwischen den Grubenfeldern Teutschenthal und Angersdorf über der westlichen Kante des Gebirgsschlagsfeldes von 1996 Messungen mit den Verfahren Seismik und Geoelektrik. Die Auswertung der geoelektrischen Daten zeigt eine hochleitfähige, dünne Schicht an der Oberfläche der Stöße und der Sohle, gefolgt von einer Schicht extrem hoher Widerstände. Ab einer Tiefe von 30 m deutet sich eine Abnahme der spezifischen elektrischen Widerstände an, während in horizontaler Richtung kaum Variationen auftreten. Die erste Auswertung der seismischen Messungen zeigt mehrere Reflektoren im Liegenden bis in eine Tiefe von 100 m.

Im Anschluss an die Messkampagne wurde ein erster Machbarkeitstest zu kombinierten Übertage-/Untertagemessungen durchgeführt. Dazu wurde an der Erdoberfläche über der in 550 m Tiefe gelegenen Strecke Ströme in der Größenordnung bis 1.5 A eingespeist. Der hohe Störsignalpegel (Bahnstrom, 50 Hz-Störungen durch nahe Industrieansiedlungen sowie starke niederfrequente Störsignale) erschwerte trotz umfangreicher Signalbearbeitung die Aufnahme eindeutiger Signale an den untertägig platzierten Registriereinheiten. Es wird jedoch erwartet, dass der Einsatz einer leistungsstarken Stromquelle an der Oberfläche das Signal-Rauschverhältnis verbessert.

Die Auswertung der geoelektrischen Daten von der Referenzstrecke im Bergwerk Sollstedt zeigt im östlichen Profilbereich ab etwa 5 m Tiefe generell sehr hohe spezifische Widerstände ( $>106 \Omega\text{m}$ ), so dass dort das Vorhandensein laugenführender Bereiche ausgeschlossen werden kann. Im westlichen Profilbereich treten zwei deutliche niederohmige Anomalien (ca.  $104 \Omega\text{m}$ ) auf, die auf laugenführende Bereiche hindeuten. Es folgt ein sehr hochohmiger Bereich, der mit einer aufgelockerten Bruchzone erklärt werden kann. Die aufgefundenen Anomalien korrelieren mit Ergebnissen der anderen geophysikalischen Verfahren (Radar, Elektromagnetik, Sonar und Seismik). Eine mögliche Interpretation ist das Vorhandensein einer trockenen, gasführenden Beanspruchungszone im Anhydrit, die von einer benachbarten aufgelockerten und laugenführenden Zone begleitet wird und durch hohen Druck des eingeschlossenen Gases gegen diese abgedichtet ist. Die seismischen Messungen zeigen neben dem erwähnten Reflektor, der dem Übergang Steinsalz/ Anhydrit zugeordnet wird, klare Reflektoren verursacht durch benachbarten Strecken.

An Proben vom Stoß der Referenzstrecke wurden Wassergehalt und Dichte bestimmt.

Für die Szenarienanalyse zur geophysikalischen Erkundung an typischen Problemzonen wurden synthetische Datensätze für Geoelektrik und Seismik auf der Grundlage von mit den Projektpartnern abgestimmten gemeinsamen Modellen berechnet.

Am Referenzstandort Teutschenthal wurden Salzgesteinsproben entnommen, an denen im Labor Wassergehalt, spezifischer elektrischer Widerstand und Dichte bestimmt wird.

#### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Weitere Auswertung der geoelektrischen und seismischen Messungen auf der Referenzmessstrecke in Teutschenthal-Angersdorf
- Testmessungen Übertage-Untertage am Standort Teutschenthal mit einer leistungsstarken Stromquelle (Scintrex TSQ4): übertägige Einspeisung, Registrierung untertägig
- Laboruntersuchungen an Gesteinsproben von den Referenzstandorten (Bestimmung petrophysikalischer Parameter: Wassergehalt, spez. elektrischer Widerstand, Dichte)
- Numerische FEM-Modellierungen geoelektrischer Untertage-Messungen

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

Just, A., Rücker, C., Serfling, U., Schütze, C., Jacobs, F. (2006): DC-Geoelektrik zur Erkundung von Problemzonen im Salinar - Messungen in einem Salzbergwerk im Südharz.- Proc. XI. Arbeitsseminar „Hochauflösende Geoelektrik“, 9.-12.10.2006, Kloster Nimbschen/ Sachsen.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30655 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1315</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt GGA: Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2005 bis 31.05.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 340.080,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Wonik	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für die Detektion und Charakterisierung von Problemzonen in der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponien liegt in Ansätzen ein komplexes Mess- und Auswerteinstrumentarium vor, das in Ausgangsvorhaben (02C0558, 02C0568, 02C0578 und 02C0851, 02C0861, 02C0871) entwickelt wurde.

Das Ziel des aktuellen Vorhabens ist die Schaffung eines universellen integrierten geophysikalisches Mess- und Auswerteinstrumentariums, das unter den allgemeinen Bedingungen der Entsorgung im Salinalgestein einsetzbar ist. Im Vorhaben werden die Verfahren Elektromagnetik und Georadar mit den in den Parallelvorhaben "- Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung" (02C1305) und "- Sonarverfahren" (02C1325) in verschiedenen Standorttypen eingesetzt und die verwendeten Methoden verknüpft. Eine aufwändige geostatistische Auswertung aller geophysikalischen Messergebnisse wird eine quantitative Charakterisierung von Problemzonen ermöglichen. Damit wird ein geophysikalischer Beitrag zur Erkennung, Bewertung und Behandlung von geologisch bedingten Problemen bei der untertägigen Entsorgung geleistet.

Die Ergebnisverwertung umfasst Patentrecherchen, Handlungsempfehlungen, marktfähige Dienstleistungsangebote und Lizenzvergabemodelle.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Identifizierung und Charakterisierung der Referenzstandorte
2. Messungen an den Referenzstandorten
3. Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter im Labor und in situ
4. Quantitative Charakterisierung von Problemzonen durch geostatistische Auswertung aller geophysikalische Messergebnisse
5. Weiterentwicklung des komplexen Mess- und Auswerteinstrumentariums, Handlungsempfehlungen, Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die im ersten Halbjahr 2006 in *Sollstedt* gewonnenen Georadardaten wurden einer weiteren Bearbeitung (u. a. Migration) unterzogen. Es zeigen sich komplizierte Reflexionsverläufe, die vermutlich durch 3D-Bedingungen hervorgerufen werden.

Die Messungen von Anfang 2006 an einem Laugenaustritt in *Teutschenthal* konnten aus bergbauartigen Gründen leider nicht fortgeführt werden. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurde eine andere interessante Lokation in der Verbindungsstrecke Teutschenthal-Angersdorf ausgewählt. Im Ok-



tober 2006 wurde das Georadar zunächst zur Vorerkundung eingesetzt, um eine gemeinsame Messstrecke für alle Messverfahren der Projektpartner festzulegen. In zwei Messeinsätzen erfolgten Georadarmessungen mit verschiedenen Frequenzen (25 MHz bis 500 MHz), in verschiedene Raumrichtungen sowie mit verschiedenen Antennenanordnungen (CMP und CO) und -orientierungen (broadside, crosspolarisation, endfire). Ziel ist es aus den Ergebnissen möglichst viele Informationen über Raumlage und Eigenschaften der Reflektoren zu gewinnen. Die Strukturerkundung zeigt gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Projektpartner.

Neben den Radarmessungen wurde auch in *Teutschenthal* die Elektromagnetik eingesetzt. Zur Anwendung kam eine horizontal koplanare Spulenanordnung mit dem kommerziellen Messsystem Max-Min. Erste Analysen der Messergebnisse für diesen Untersuchungsbereich zeigen keine Anomalien. Die in der Messstrecke vorhandenen zahlreichen elektrischen Leitungen und Förderanlagen verursachten starke Störungen in den Messsignalen. Dadurch bedingt muss die Aussagekraft der Messergebnisse relativiert werden. Eine Inversion der Messdaten wird als problematisch eingeschätzt. Die Ergebnisse der Elektromagnetik können nicht quantitativ interpretiert werden und dienen somit nur als ergänzende Übersichtsmessung.

Zur quantitativen Charakterisierung von Problemzonen im Salinar wird ein neuer methodischer Ansatz aus der statistischen Lerntheorie zur integrierten Bearbeitung von Messdaten unterschiedlicher geophysikalischer Verfahren zur angewendet. Dazu wurde als erster Schritt die Methode der Support-Vector- Machines (SVM) getestet.

Die Arbeiten zur integrierten Auswertung erfolgten in zwei Schwerpunkten: (a) Analyse der Daten der Vorgängerprojekte (Untersuchungsstandorte Bischofferode und Sigmundshall) und (b) theoretische Arbeiten mit Modellen.

Zur Datenaufarbeitung gehörten die

- Recherche und Sammlung der vorhandenen Daten,
- Aufbereitung der prozessierten Daten für die Bearbeitung mit statistischen Lernmethoden,
- Anwendung der Methode SVM zur Anomalienmustererkennung.

Die vorhandenen Daten sind durch die nicht vollständige Überdeckung und unterschiedliche Eindringtiefen der Einzelverfahren nur bedingt für eine gemeinsame statistische Auswertung geeignet. Für den Standort *Bischofferode* konnten die im ersten Ausgangsvorhaben herausgearbeiteten anomalen Bereiche teilweise bestätigt bzw. erweitert werden. Hinsichtlich des Untersuchungsbereiches *Sigmundshall* liegen noch nicht alle Daten vor.

Zur theoretische Validierung und Unterlegung des zu untersuchenden neuen methodischen Ansatzes mit der statistischen Lernmethode SVM wurde ein Modellansatz für eine Salzlösungszone im Salinar verwendet. Die vorgegebene Salzlösungszone konnte hinreichend genau abgebildet werden.

#### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Eventuell Ergänzungsmessungen in einem vorerst zurückgestellten Messbereich des Bergwerkes *Sollstedt* sowie im Bergwerk *Teutschenthal*
- Auswertung der gewonnenen Daten im Hinblick auf Problemzonenortung
- Geologische Interpretation der Reflexionen in Zusammenarbeit mit Dr. Schwandt
- Weiterentwicklung der statistischen Lernmethode SVM zur integrierten Auswertung verschiedener geophysikalischer Methoden
- Berechnung komplexerer Modelle für Salzlösungszonen
- Untersuchung weiterer Klassifikationsmethoden für die Komplexauswertung

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

EHRET, B. UCHTMANN, S. & WONIK, T. (2006): Untertägige Erkundung von Problemzonen im Salinar. In: Forschungsbericht 2006, Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben, Bericht, GGA-Institut; Hannover.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastr. 27 c, 80686 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1325</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteeinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt FhG: Sonarverfahren		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2005 bis 31.05.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 477.455,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kühnicke	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für die Detektion und Charakterisierung von Problemzonen in der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponien liegt in Ansätzen ein komplexes Mess- und Auswerteeinstrumentarium vor, das in Ausgangsvorhaben (02C0558, 02C0568, 02C0578 und 02C0851, 02C0861, 02C0871) entwickelt wurde.

Das Ziel des aktuellen Vorhabens ist die Schaffung eines universellen integrierten geophysikalischen Mess- und Auswerteeinstrumentariums, das unter den allgemeinen Bedingungen der Entsorgung im Salinar flexibel einsetzbar ist. Gegenstand des Vorhabens ist die Einbindung der Sonarverfahren in das Verbundvorhaben, bei dem außerdem die Bearbeitungskomplexe „Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung“ (02C1305) und „Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen“ (02C1315) an verschiedenen Standorttypen eingesetzt werden. Damit wird ein geophysikalischer Beitrag zur Erkennung, Bewertung und Behandlung von geologisch bedingten Problemen bei der untertägigen Entsorgung geleistet.

Die Ergebnisverwertung umfasst Patentrecherchen, Handlungsempfehlungen, marktfähige Dienstleistungsangebote und Lizenzvergabemodelle.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Auswahl und Charakterisierung von Referenzmessorten
- AP2: Sensorentwicklung hochempfindlicher niederfrequenter Ultraschallaufnehmer
- AP3: Entwicklung bergbautauglicher Sonar-Messtechnik mit hohem Schutzgrad
- AP4: Parametergewinnung, Messkampagnen
- AP5: Weiterentwicklung der Rekonstruktionsverfahren
- AP6: Auswertung des Datenmaterials, Datenfusion
- AP7: Abschlussbericht

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

- AP1: Als weiterer Standort für die methodenübergreifende Untersuchung von Problemzonen wurde der Bereich der Überfahung des westlichen Bruchfeldrandes im Bergwerk Teutschenthal-Angersdorf ausgewählt.
- AP2: Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.
- AP3: Die Softwareentwicklung für das Testmuster des bergbautauglichen 16-kanaligen Ultraschall-Messsystems wurde fortgesetzt.
- AP4: Vom 1.11. bis 9.11.2006 erfolgten am Messort Teutschenthal auf der Sohle der Verbindungsstrecke Teutschenthal-Angersdorf auf dem Profilabschnitt von 1650 m bis 1850 m, der den westlichen Bruchfeldrand überstreicht, Sonar-Messungen.
- AP5: Im SAFT-Rekonstruktionsverfahren wurden Offset-Parameter eingeführt, mit denen sich die Maximalabstände zum Mittelpunkt zwischen Sender und Empfänger steuern lassen.
- AP6: Im Rahmen von Modellrechnungen an gemeinsamen Modellen von Problemzonen erfolgte eine Modellierung der Sonar-Untersuchungen mit der Elastodynamischen Finiten Integrationstechnik (EFIT). Aufbauend auf den Modellierungsergebnissen konnten die Auswerterroutinen für die in-situ gewonnenen Parameter weiter verbessert werden. Die Sonardaten der Referenzstandorte Sigmundshall, Sollstedt und Teutschenthal wurden mit dem modifizierten Auswerte- und Rekonstruktionsalgorithmus neu bearbeitet. In allen Fällen konnten so im Teufenbereich bis ca. 60 m hochauflösende Informationen über geomechanische Parameter erhalten werden. Am Standort Teutschenthal konnten geomechanische Auswirkungen des Gebirgsschlages im Deckgebirge sichtbar gemacht werden.
- AP7: Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Entwicklung des bergbautauglichen 16-kanaligen Sonar-Messsystems wird fortgesetzt. Der Schwerpunkt der weiteren Arbeiten liegt auf der Datenfusion der unterschiedlichen Messverfahren. Die bisherigen Ergebnisse des Forschungsvorhabens sollen am 8. März 2007 im Rahmen des 4. Fachgesprächs „Geophysik und Barriersysteme“ am Institut für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig vorgestellt werden.

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

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1335</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Qualifizierung von Strömungsbarrieren in Salzformationen, Phase 1 bis Phase 4	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2005 bis 30.11.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 945.114,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Herbert

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bisherige Entwicklungen von geotechnischen Barrieren für ein Endlager oder eine Untertagedeponie in Salzformationen zeigten nur zum Teil Erfolg versprechende Resultate. Langzeit-stabile Barrieren, die auf arteigenes Material des Wirtsgesteins Salz zurückgreifen, wurden bisher nicht systematisch entwickelt oder getestet. Insbesondere bei Vorhandensein von leichtlöslichen Mineralen im Wirtsgestein, wie Carnallit oder Tachhydrit, stehen derzeit keine adäquaten Konzepte zur Verfügung.

Mit den chemisch und mineralogisch verwandten Materialien Selbstverheilender Versatz (SVV) und AISKRISTALL wurden in den vergangenen Jahren zwei Erfolg versprechende Werkstoffe entwickelt, die bereits im Labor oder im Technikum ihre jeweilige Einsatzfähigkeit als Barrierematerial zeigten. Das Zusammenwirken beider Werkstoffe und die Zuordnung von im wesentlichen Dicht- und Tragfunktion ist bisher jedoch nicht untersucht worden. Dies soll Gegenstand des vorliegenden Projektes sein. Dabei wird das generelle Ziel verfolgt, die Materialien soweit zu qualifizieren, dass sie denselben Entwicklungsstand haben wie bisher untersuchte Barrierematerialien (z. B. Salzbeton oder Bentonit).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Entwicklung eines technischen Nachweiskonzeptes und Planung von Experimenten im Labor, im Technikum und in situ
- AP2: Vorversuche im Labor und Technikum sowie Nachweis der technischen Realisierbarkeit
- AP3: Durchführung und Auswertung von Verifikationsexperimenten
- AP4: Dokumentation der Ergebnisse und Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Kooperation zwischen den Projekten 02 C 1335 (SVV2) und 02 C 1285 (CHM) wurde mit einem gemeinsamen Workshop an der GRS Braunschweig am 16.01.2007 fortgesetzt. Im Projekt SVV2 wurden die Messungen zur Ermittlung des Kristallisationsdrucks von reinem wasserfreiem  $\text{MgSO}_4$  mit IP21-, NaCl- und  $\text{MgCl}_2$ - $\text{CaCl}_2$ -Lösung in kleinen und mittelgroßen Druckgefäßen fortgesetzt. Alle Versuche wurden über einen Zeitraum von bis zu drei Monaten unter gleichen Randbedingungen; gleiches Feststoff/Lösungsverhältnis, schnellstmögliche Flutung und Aufrechterhaltung eines maximalen Lösungsdrucks von 35 bar durchgeführt. Insgesamt liegen 31 Quelldruckmessungen vor, 11 davon mit NaCl-Lösung, 12 mit IP21-Lösung und 8 mit Tachhydrit-Lösung. Davon wurden 24 Messungen in kleinen zylindrischen Druckzellen an Porbekörpern mit einem Durchmesser von 5 bis 10 cm Länge und einem Durchmesser von 5 cm durchgeführt. Vier Versuche wurden in Druckrohren von 1m Länge und 40 cm Durchmesser durchgeführt. Daraus stammen 8 Proben für die Messwerte von Kristallisationsdrucken vorliegen. Für ausgewählte Proben liegen gleichzeitig Messwerte für alle relevanten chemisch-mineralogischen, hydraulischen und geomechanischen Kennwerte vor, die für eine gekoppelte THMC-Modellierung erforderlich sind, wie sie im Vorhaben 02 C 1285 (CHM) vorgesehen ist. Eine detaillierte Darstellung der Arbeiten und Ergebnisse findet sich in Herbert, H.-J. (2007).

Für die zunächst für das zweite Halbjahr 2006 geplanten Versuche in den großen Druckrohren (2 m-Länge und 40 cm Durchmesser) in der Asse wurden zugunsten von vier Rohrversuchen in einem etwas kleineren Maßstab zurückgestellt. Diese Versuche in Druckrohren von 1m Länge und 40 cm Durchmesser konnten mit einem vertretbaren Aufwand im Labor der GRS durchgeführt werden. Sie sind inzwischen abgelaufen und haben wertvolle Informationen für eine Optimierung der Versuchsrandbedingungen in den größeren Rohren in der Asse erbracht. Diese Rohrversuche sind inzwischen soweit vorbereitet, dass mit der Durchführung Ende Januar 2007 begonnen werden kann.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die ersten beiden von vier Versuchen in den großen Druckrohren in der Asse werden im ersten Halbjahr 2007 durchgeführt und abgeschlossen werden. Von den Ergebnissen wird es abhängen ob die großmaßstäblichen Bohrlochversuche gleich im Anschluss begonnen werden oder die Ergebnisse der Rohrversuche 3 und 4 noch abgewartet werden müssen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Herbert, H.-J. (2007): Self Sealing Backfill (SVV) – A salt based material for constructing seals in salt mines. – Proceedings of the 6<sup>th</sup> Conference on the Mechanical Behaviour of Salt.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Merzhauser Straße 173, 79100 Freiburg		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1345</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2005 bis 31.04.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 253.485,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dehoust	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung von wissenschaftlich begründeten und nachvollziehbaren Methoden zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Entsorgungsmethoden für schadstoffhaltige Abfälle und deren Erprobung anhand ausgewählter Abfälle.

Das Forschungsvorhaben soll dazu beitragen, die Entsorgung von Abfällen insgesamt umweltverträglicher und nachhaltiger zu gestalten, indem gezeigt wird, für welche Abfälle bzw. Abfallarten welche Entsorgungsverfahren – auch unter Berücksichtigung beispielsweise sozialer und abfallwirtschaftlicher Aspekte – am besten geeignet sind. Es soll ferner dazu beitragen, dass die Ablagerung von Abfällen unter Tage zum Zwecke des Versatzes sicherer gestaltet werden kann, indem Abfälle bzw. Abfallarten identifiziert werden, die für den Versatz unter Berücksichtigung von Bergwerkstyp und Versatzverfahren geeignet sind.

Als Bezug zu anderen Vorhaben ergibt sich ferner, dass die Vorhabensziele auch in engem Zusammenhang mit dem Forschungs-Themenbereich „Nachhaltigkeitskonzepte für die Praxis“ gesehen werden müssen, der vom BMBF mit insgesamt 800 Mio. € gefördert wird.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in sechs Arbeitspakete (AP). In AP1 wird eine Mengenstromanalyse der potenziell für den Versatz geeigneten Abfälle durchgeführt. Die unterschiedlichen Verwertungs- und Beseitigungsverfahren für die Abfälle werden in AP2 beschrieben und analysiert. Die Daten der beiden Arbeitspakete werden in AP3 zusammengeführt und Abfälle für die spätere detaillierte Bewertung nach Nachhaltigkeitskriterien ausgewählt. Die konkurrierenden Behandlungs- und Beseitigungsverfahren für ausgewählte Abfallarten werden in AP4 in einer Sach- und Wirkungsbilanz auf ihre Nachhaltigkeit untersucht. In AP5 wird schließlich die vergleichende Bewertung anhand der Kriterien Umweltauswirkungen, ökonomische Aspekte und soziale Aspekte vorgenommen. In AP6 werden Konsequenzen der Bewertung für die verschiedenen Akteure (Versatzbergwerke, Abfallerzeuger und Verwaltung) aufgezeigt.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### Arbeitspaket 1

Die Arbeiten sind abgeschlossen. Die für die Abfallart AVV-Nr. 19 01 11 bestehenden Widersprüche bei Daten aus verschiedenen Quellen konnten auch nach weiterer Recherche bei Behörden, Verbänden etc., nicht geklärt werden. Für diese Abfallart muss mit einer Schätzung gearbeitet werden.

#### Arbeitspaket 2

Die Arbeiten in diesem Paket sind praktisch abgeschlossen, eine Nachjustierung erfolgt nach Abschluss der Arbeiten am Bewertungsschema.

Arbeitspaket 3

Die Arbeiten in diesem Arbeitspaket sind abgeschlossen.

Arbeitspaket 4

Im Arbeitspaket 4 wurden die Entwicklungsarbeiten für ein Bewertungsschema weitergeführt. Als Grundlage für die Bewertung der ausgewählten Verfahrenskombinationen (AP5) wurde ein vorläufiges Bewertungsschema entwickelt, das eine neue Wirkungskategorie beinhaltet, die die langfristige Entsorgungssicherheit abbildet. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei, welcher Anteil der langfristig toxisch wirkenden Verbindungen in eine Senke gelangt, die in der Lage ist, die Schadstoffe über einen sehr langen Zeitraum sicher zurückzuhalten. Da die Schadstoffe ein stark unterschiedliches Toxizitätspotenzial aufweisen, muss auch die unterschiedliche Toxizität im Bewertungsmodell berücksichtigt werden. Hierfür wird die Toxizität beim Austrag über den Wasserpfad gewichtet, da die möglichen Schadstoffausträge überwiegend über das Grundwasser stattfinden werden. Die Wichtung erfolgt mit den Geringfügigkeitsschwellenwerten für Grundwasser.

Der erste Entwurf des Bewertungsschemas wurde in einem Workshop am 3.8.06 mit Behörden- und Verbandsvertretern diskutiert. Die dort vorgetragenen Vorschläge wurden bei der Weiterarbeit am Schema berücksichtigt.

Nach der Anwendung des vorläufigen Bewertungsschemas auf die ausgewählten Verfahrenskombinationen wird überprüft werden, ob es sinnvoll ist, das Ergebnis der neuen Wirkungskategorie nach der Systematik der UBA-Methode zu hierarchisieren.

Eine für die weitere Bearbeitung entscheidende Konsequenz aus dem erarbeiteten Bewertungsmodell ist, dass mit der Betrachtung der neuen Wirkungskategorie eine Stoffstromanalyse für die Schwermetalle für die gesamten Verfahrensketten durchgeführt werden muss. Dies wird bei Ökobilanzen üblicherweise nicht gemacht, da bei den klassischen Ökobilanzen nur die kurzfristigen Emissionen betrachtet werden.

Recherchen zu sozialen Kriterien haben gezeigt, dass keine quantitativen Daten erhoben werden können. Stattdessen werden die einzelnen Verfahrenskombinationen qualitativ beschrieben.

Als ökonomische Indikatoren werden nur die entstehenden Entsorgungskosten betrachtet, die der Abfallbesitzer für die Entsorgung zu bezahlen hat. Externe Kosten wie die Kosten der aktuellen Umweltverschmutzung, Kosten der langfristigen Schadstofffreisetzung und eventuelle Kosten einer späteren Rückholung von Schadstoffen beinhalten Aspekte, die bereits in den anderen Wirkungskategorien der Ökobilanz bzw. der neu entwickelten Wirkungskategorie enthalten sind. Nach dem Grundsatz, keine Doppelungen bei der Wertung durchzuführen, werden diese externen Kosten nicht betrachtet.

Arbeitspaket 5

Im Arbeitspaket 5 wurden für die in Arbeitspaket 3 festgelegten Abfälle und Verfahrenskombinationen sowohl eine Ökobilanz als auch eine Stoffstromanalyse für die Schwermetalle durchgeführt. Als besonders lückenhaft erwies sich die Datengrundlage für die Stoffstromanalyse der Schwermetalle. Dies gilt in besonderem Maße für die Vorketten wie Bergbau und Aufbereitung. An diesen Stellen wurde mit zahlreichen Annahmen gearbeitet. Ihr Einfluss auf das Ergebnis muss noch mit Sensitivitätsanalysen herausgearbeitet werden. Weiterhin wurden die Entsorgungskosten abgeschätzt und soziale Aspekte betrachtet.

**4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten zu AP5 wurden plangemäß aufgenommen und werden voraussichtlich im ersten Quartal 2007 abgeschlossen. Der ursprünglich für Ende Januar vorgesehene abschließende Workshop wird sich daran anschließen und sich daher in den März verschieben.

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

Zur Vorbereitung des zweiten Workshops sind entsprechende Berichte in Vorbereitung, sie werden allen Teilnehmern der Beratung verfügbar gemacht. Weitere Berichte und Veröffentlichungen liegen im Berichtszeitraum nicht vor.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1355</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Weiterentwicklung der EDV-Software INFIL zur Simulation des druckbetriebenen Infiltrationsprozesses von Fluiden in ein nicht permeables Barrieren-Gebirge (Salinar)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2005 bis 31.08.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 581.000,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Lux	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen von Standortvergleichen und standortbezogenen Sicherheitsanalysen müssen die Änderungen von Tragverhalten und langzeitsicherer Abdichtungsfunktion der Barrierengesteinsformation Salzgestein, welche bei einer druckgetriebenen Infiltration von fluiden Medien in das ein Endlager umgebende Salinalgewirge zu erwarten sind, qualitativ und quantitativ beschrieben werden können. Dazu sind als Grundlage die zur Infiltration führenden und die davon beeinflussten Prozesse zu identifizieren und zu beschreiben (physikalische Modellierung). Des Weiteren muss ein Instrumentarium erarbeitet werden, mit dessen Hilfe das Tragverhalten und die Funktionsfähigkeit von Gebirge (sowohl als Tragelement wie auch als geologische Barriere) und geotechnischen Barrieren (als Verbundkonstruktionen von umgebendem Gebirge und bautechnischen Abdichtungs- / Tragelementen) analysiert und mit hinreichend zuverlässiger Sicherheit prognostiziert werden können.

Es ist daher Ziel des Vorhabens, unter Nutzung und durch zusätzliche Erweiterung bestehender Software das vom Antragsteller entwickelte Infiltrationsmodell nach Lux mit den notwendigen Modifikationen auf verschiedene Fluide als Infiltrationsmedium zu übertragen und anzuwenden. Aufbauend auf abgesicherten laborativen Erkenntnissen soll herausgearbeitet werden, welche Erweiterungen zukünftig erforderlich sind, um das vorhandene Infiltrationsmodell auch auf Gase als Infiltrationsmedium anwenden zu können.

Die Validierung des Infiltrationsmodells erfolgt in einem ersten Schritt durch die Simulation von Laborversuchen (back-analysis). Durch die Anwendung auf ein exemplarisches Grubensystem ist eine weitere Validierung des Infiltrationsmodells beabsichtigt (Plausibilitätsanalyse).

Das beantragte Vorhaben trägt dazu bei, die Prädiktionsqualität der für eine Prognose des Langzeitverhaltens und der Barrierenintegrität erforderlichen Nachweise zu erhöhen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Arbeitsprogramm ist entsprechend der gewählten Zielsetzung in folgenden Arbeitspakete gegliedert:

- AP1: Infiltrationsversuche an Salzprüfkörpern mit unterschiedlichen Fluiden
- AP2: Infiltrationsversuche an Salzprüfkörpern aus verschiedenen Lokationen
- AP3: Anpassung / Erweiterung des vorhandenen Infiltrationsmodells (Infiltrationsraten- / Infiltrationsmengenmodell)
- AP4a: Implementierung des erweiterten Infiltrationsmodells und Kopplung an das FEM-Programm MISES3
- AP4b: Implementierung des erweiterten Infiltrationsmodells und Kopplung an das FDM-Programm FLAC3D
- AP5: Versuche an vollständig oder teilweise axial gelochten Prüfkörpern



- AP6: Validierung der rechnerischen Simulation des Infiltrationsprozesses anhand laborativer Untersuchungen an speziellen Prüfkörpern
- AP7: Demonstration der Wirkungsweise der Simulationssoftware INFIL anhand von exemplarischen Beispielen
- AP8: Abschlussbericht

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

- AP1: Versuche mit Tracer-Flüssigkeit und Lauge wurden und werden durchgeführt. Versuche mit Lauge sind nicht geeignet, die infiltrierten Bereiche zu identifizieren.
- AP2: Die Versuche sind bislang an Prüfkörpern aus Asse-Steinsalz sowie drei weiteren Lokationen durchgeführt worden.
- AP3: Das Infiltrationsmodell wurde für eine 3D-Berechnung modifiziert mit dem Ziel einer Berücksichtigung von Schichtungseinflüssen auf die Infiltrationsfrontentwicklung. Das Infiltrationsmodell wurde für eine Berechnung an einem rotationssymmetrischen Modell mit dem Ziel der Berücksichtigung von thermisch bedingtem Druckaufbau modifiziert. Des Weiteren wurde das Infiltrationsmodell mit dem Ziel der Berücksichtigung einer Querinfiltration modifiziert.
- AP4: Die weitere Implementierung und Verifikation der Kopplung des Infiltrationsmodells an das FDM-Programm FLAC3D sind Gegenstand der derzeitigen Arbeiten, um damit eine Berechnung von 3D-Modellen zu ermöglichen. Die Gleichungen zur Berücksichtigung eines thermisch bedingten Druckaufbaus wurden zur Kopplung an das FEM-Programm MISES3 implementiert. Die Gleichungen zur Berücksichtigung der Querinfiltration sind zur Kopplung an das FEM-Programm MISES3 implementiert worden.
- AP5: Die Versuche sind bislang an Vollprüfkörpern durchgeführt worden.
- AP6: Die Validierung des Infiltrationsmodells und die numerischen Simulationen werden parallel zur Weiterentwicklung der Simulationssoftware durchgeführt.
- AP7: keine
- AP8: keine

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP1: Weitere Versuche mit unterschiedlichen Fluiden / Salzgesteinen / Belastungsrandbedingungen.
- AP2: Weitere Versuche zur Analyse des Schichtungseinflusses auf das Infiltrationsverhalten.
- AP3: Die Erweiterung des Infiltrationsmodells soll auf der Grundlage der Ergebnisse der weiteren Versuche vorangetrieben werden.
- AP4: Eine Erweiterung des Infiltrationsmodells nach AP3 ist mit der Implementierung zur Kopplung an MISES3 oder FLAC3D verbunden.
- AP5: Es sollen Versuche an vollständig oder teilweise axial gelochten Prüfkörpern durchgeführt werden.
- AP6: Weitere Verifikations- und Validierungsberechnungen sollen durchgeführt werden, insbesondere nach Programmweiterungen und im Zusammenhang mit der Kopplung an FLAC3D.
- AP7: Exemplarische Beispiele unter Berücksichtigung der bis dahin erkannten, bei der Infiltration ablaufenden Prozesse sollen definiert und bearbeitet werden.
- AP8: Abschlussbericht

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1395</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 1		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2005 bis 31.12.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 615.337,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Heuchel	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben wird auf der Basis der Zusammenarbeit durch folgende Institutionen bearbeitet:

- Institut für Bergbau, TU Clausthal
- Institut für Nichtmetallische Werkstoffe, TU Clausthal
- Kali-Umwelttechnik GmbH (K-UTEK), Sondershausen

Das Verbundprojekt beinhaltet 7 Arbeitspakete. Bei K-UTEK laufen zurzeit die Untersuchungen zum Arbeitspaket 2 – Grundlagenuntersuchungen zu dem Magnesiabinder-Oxisulfat-System.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Arbeitspaket 2 sieht folgende Untersuchungsschwerpunkte vor:

- Literaturrecherche
- Rezepturenentwicklung mit verschiedenen MgO-Typen
- Nachweis der Eigenschaften der Systeme
- Untersuchungen zur Wärmefreisetzung und zur Aussteuerung der Wärmefreisetzung
- Untersuchung zur Festigkeit

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

Die Rezeptur wurde aus MgO und Inert- bzw. Füllstoffen aufgebaut, als Anmischflüssigkeit wird gesättigte MgSO<sub>4</sub>-Lösung verwendet. Es konnten im Vergleich zum Oxichloridsystem noch keine vergleichbaren Festigkeitswerte erzielt werden. Die Verarbeitbarkeit wird als noch nicht ausreichend eingestuft.

Durch die Erhöhung des Verhältnisses MgO:MgSO<sub>4</sub>, sowie den Einsatz von Fließmitteln und Tensiden, eine gezielte pH-Wert-Einstellung bzw. die Variation der Inertstoffe wurde die Rezeptur modifiziert und sowohl die Frischmörteleigenschaften als auch die Eigenschaften der ausgehärteten Festkörper konnten damit verbessert werden. Einige ausgewählte Rezepturen wurden mit unterschiedlichen MgO-Typen getestet.

Die Frischmörteleigenschaften und die Eigenschaften der ausgehärteten Probekörper konnten mit der Anwendung verschiedener MgO-Typen z. T. verbessert werden, erreichen jedoch weiterhin nicht das vorgegebene Zielgebiet.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weitere Testung der Rezepturen im Hinblick auf das Mol-Verhältnis MgO:MgSO<sub>4</sub>, den Rühr-energieeintrag und Einsatz unterschiedlicher weiterer Inertstoffe mit dem Ziel, die vorgegebenen Frischmörtel- bzw. Feststoffeigenschaften zu erreichen.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1405</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 2		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2005 bis 31.12.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 330.406,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Langefeld	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist die Weiterentwicklung und Optimierung bestehender Magnesiabinder-Systeme für Verschlussbauwerke in Untertage-Deponien und atomaren Endlagern im Salinar unter besonderer Berücksichtigung der Langzeitsicherheit, der Resistenz gegenüber zutretenden Lösungen, der Beherrschung der maximalen Abbinde-temperaturen und der Bereitstellung eines praktikablen Verfahrens.

Das Projekt beginnt mit der Grundlagenuntersuchung an Magnesiabindersystemen zum einen auf Basis von Alkali-Phosphaten (INW) und zum anderen auf Basis von Oxysulfaten (K-UTEC). Erfolgsversprechende Baustoffabstimmungen sollen in Folge umfangreicher Eignungsuntersuchungen im Labor unterzogen werden (INW, IBB). Daran schließen sich Handhabungsversuche zur Einbringung und Verarbeitbarkeit der Baustoffe (K-UTEC, IBB) sowie ein kleintechnischer Versuch im m<sup>3</sup>-Bereich an.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Grundlagenuntersuchung zur Optimierung der Magnesiabinder-Alkali-Phosphat-Baustoffe (INW)
- AP2: Grundlagenuntersuchung zu den Magnesiabinder Oxysulfat-System (K-UTEC)
- AP3: Gefügeuntersuchung an den Magnesiabindersystemen auf Phosphat- und Sulfat-Basis (INW)
- AP4: Untersuchungen zu den Eigenschaften der Baustoffe unter geomechanischen Gesichtspunkten (IBB)
- AP5: Handhabungsversuche (IBB, K-UTEC)
- AP6: Erprobung optimierter Systeme in einer kleintechnischen Versuchsanlage analog FuE-Projekt 02C1214 (K-UTEC)
- AP7: Versuchsauswertung, Abschlussberichte, Verwertungskonzept (alle Verbundpartner)

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

Die im letzten Bericht erwähnten Arbeiten zur Automatisierung der Triaxialzelle konnten mittlerweile erfolgreich abgeschlossen werden. Die sich daran anschließenden Tests zur Prüfung der Funktionalität und Belastbarkeit zeigten bereits erste Verbesserungsmöglichkeiten. Dabei konnten in der Steuerungssoftware einige Fehler behoben und eine Optimierung vorgenommen werden. Des Weiteren erfolgten Überlegungen auf theoretischer Grundlage zur Erstellung eines Prüfprotokolls in Anlehnung an die DIN-Normen.

Der Prüfstand zur Messung der Durchlässigkeiten von Baustoffen konnte so erweitert werden, dass es jetzt möglich ist, mehrere Messungen parallel laufen zu lassen. Es erfolgten bereits erste Einarbeitungen in die Messung der Durchlässigkeiten. Die anschließend durchgeführten Tests mit Gipsproben führten zu ersten positiven Ergebnissen.

Parallel zu den Arbeiten an der Triaxialzelle und der Anlage zur Durchströmung von Baustoffproben erfolgten weiterhin umfangreiche Literaturstudien. Im Vordergrund standen die Grundlagen zu den beiden Untersuchungsmethoden sowie die Vorbereitung auf die nächsten Arbeitspakete.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im nächsten Berichtszeitraum sollen zuerst Proben der Firma K-UTEC auf Basis von Magnesiumchlorid geprüft werden. Dabei handelt es sich um Baustoffe aus anderen Forschungsvorhaben. Für diese Proben liegen Ergebnisse zur Druckfestigkeit vor und dienen damit als Vergleichsmessung und Bestätigung der Ergebnisse sowie der Sammlung von Erfahrungen im Umgang mit den Baustoffen.

Weiterhin sollen erste geomechanische Versuche an den neu entwickelten Baustoffen auf Alkali-Phosphat-Basis des Institutes für Nichtmetallische Werkstoffe erfolgen. Getestet werden Rezepturen mit unterschiedlichen Phosphaten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind für die weitere Baustoffentwicklung von Bedeutung. Auch sollen erste Test mit den Proben der Firma K-UTEC auf Sulfat-Basis erfolgen.

Ferner werden die Überlegungen zum Arbeitspaket 5: „Handhabungsversuche“ fortgeführt.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1415</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 3		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2005 bis 31.12.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 290.000,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Wolter	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Hauptziel ist die Entwicklung einer gebrauchsfähigen neuartigen Magnesiabinder-Rezeptur mit phosphatischer bzw. sulfatischer Bindung auf der Basis salinärer und/oder salinar-kompatibler Grundstoffe, die

- ein dichtes Gefüge entwickelt (minimale Lösungs- und Gaspermeabilität),
- gegenüber bisherigen Systemen eine deutlich höhere Wasser- und Laugenresistenz aufweist,
- eine entsprechend den geomechanischen Anforderungen ausreichende Stützwirkung und Kriechfähigkeit entwickelt und aufrechterhält,
- leicht einzubringen ist,
- Keinen Verdichtungsaufwand erfordert, sondern durch autogene Quellreaktionen selbstverdichtend ist, kraftschlüssig an das umgebende Gestein anbindet, den Quelldruck dauerhaft aufrechterhält und über eine sekundäre Quellung bei Lösungszutritt Umläufigkeiten unterbindet,
- wenig Reaktionswärme freisetzt, um übermäßige Selbsterwärmung zu vermeiden, und
- (gemessen an den hohen Anforderungen) kostengünstig ist.

Weiterhin soll das Erhärtungsverhalten so steuerbar sein, dass – unbeschadet eines schnellen Erstarrens – die bei der Reaktion entstehende Wärme über einen langen Zeitraum emittiert und dabei auch gut aus dem Verschlussbauwerk abgeleitet werden kann.

Nach Abschluss dieser umfangreichen Untersuchungen gehen wir von einem Entwicklungsstand aus, der eine Bergerprobung bzw. einen großtechnischen Versuch (Versuchsdamm) zulässt.

Mineralische Bindemittel werden üblicherweise zusammen mit Mineralkörnungen als Verbundwerkstoff konzipiert. Die Magerung verfolgt dabei mehrere Ziele:

- Minimierung des Bindemittelanteils
- Minimierung des Anmischflüssigkeitsbedarfes
- Minimierung der Reaktionswärme bezogen auf den Baustoff insgesamt
- Verbesserte Wärmeableitung ins Nebengestein

- Schneller Aufbau des Expansionsdruckes durch Verminderung der anfänglichen Porosität
- Anpassung der Kriech Eigenschaften an das umgebende Wirtsgestein
- Kostenersparnis.

Nach Abschluss dieser umfangreichen Untersuchungen gehen wir von einem Entwicklungsstand aus, der eine Bergerprobung bzw. einen großtechnischen Versuch (Versuchsdamm) zulässt.

## **2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete**

(II. Quartal 2006)

- Literaturrecherche
- Untersuchungen der Reaktivität von MgO
- Umbau, Programmierung und Inbetriebnahme eines Drehrohrofens mit Einfüll einrichtung und Auslauf.
- Rezepturenentwicklung
- Erweiterung des Kalorimeters auf 8 Messstellen
- Kalorimeteruntersuchungen

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

- die Literaturrecherche wird durchgeführt.
- das Brennen von Magnesiumoxid im eigenen Drehrohrofen ist notwendig geworden, da geliefertes hochreaktives MgO in den üblichen Behältnissen nach einem relativ kurzen Zeitraum carbonatisierte. Dieser Sachverhalt verzögerte die Rezepturenentwicklung erheblich.
- Brennversuche im Muffelofen zur Bestimmung geeigneter Korngrößen und Lagerungsbedingungen wurden zur Vorbereitung durchgeführt
- Optimierung der Auswertungsmethodik zur Bestimmung der Reaktivität
- der Drehrohrofen konnte Mitte Dezember 2006 in Betrieb genommen werden.
- es wurde eine Rezeptur mit hochreaktivem MgO und einem Natriumaluminiumphosphat angesetzt, erste kalorimetrische Untersuchungen zeigten eine differenzierte Wärmeentwicklung als bei Hydrogen- oder Pyrophosphatrezepturen.

## **4. Geplante Weiterarbeiten**

- bei den Rezepturen ist die Abstimmung der Komponenten hinsichtlich Art, Kornverteilung und Reaktivität durchzuführen.
- eine Modifikation der Anmachflüssigkeit (verschiedene Laugen/Säuren) ist mit den Feststoffkomponenten abzustimmen und zu optimieren.
- Untersuchung der im Drehrohrofen gebrannten Magnesia, sowie Modifizierung der Brennversuche im Drehrohrofen werden erfolgen.
- Die Kalorimeteruntersuchungen werden fortgesetzt.
- die röntgenographische Phasenanalyse der Reaktionsprodukte soll sowohl Aufschluss über die abgelaufenen Reaktionen geben, als auch Möglichkeiten zur Verbesserung der Rezepturen aufzeigen.

## **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1426</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 30.06.2009		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 503.928,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Herbert	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es wird eine einheitliche, umfassende und konsistente thermodynamische Referenzdatenbasis zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozessen für die derzeit in Deutschland diskutierten oder bereits realisierten Wirtsformationen untertägiger Entsorgungseinrichtungen erstellt. Besonderer Wert wird auf eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit von Datenbankeinträgen gelegt. Es ist vorgesehen, den bereits in anderen Datenbanken vorhandenen Datenbestand zu integrieren. Eine Datenbank dient als zentrale, gemeinsame technisch-wissenschaftliche Basis, um schrittweise eine konsistenten Datenbasis für relevante thermodynamische Informationen für das System der ozeanischen Salz und für ausgesuchte toxische Elemente zu entwickeln. Gleichzeitig hilft sie bei der Identifikation von Wissenslücken und beim Entwurf von Strategien zu deren Schließung. Im weiteren Verlauf des Vorhabens werden Werkzeuge zur Verfügung gestellt, um automatisiert anwendungsspezifische Parameterdateien aus der Datenbank zu generieren. Es wird eine geeignete Strategie entwickelt, um die Rückverfolgbarkeit jedes Einzeldatums in diesen Parameterdateien bis zur Primärliteratur zu gewährleisten. Die Parameterdateien werden über das Internet der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Damit wird auch eine nützliche Informations-Rückkopplung an die Bereitsteller der Datenbank ermöglicht. Das Vorhaben THEREDA wird in enger Abstimmung mit den Vorhaben THEREDA-RN (BMWi) und THEREDA-SZ (BfS) durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Planung, Strukturierung und Aufbau einer Datenbank zur Aufnahme thermodynamischer Daten
- Entwicklung einer Nutzerschnittstelle zur qualitätsgesicherten Eingabe von Daten in die Datenbank
- Entwicklung, Ergänzung und Dokumentation konsistenter thermodynamischer Datenbasen für Zink, Chrom, Kobalt, Nickel, Kupfer, Arsen, Cadmium, Quecksilber, Blei und Eisen bei 25° C
- Qualitätsmanagement: Entwicklung von Guidelines zur Bewertung thermodynamischer Daten und zur Aufstellung von Schätzwerten; Validierungen; Durchführung von Konsistenzprüfungen



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es wurde begonnen, eine Datenbankstruktur zu entwerfen, die u. a. den folgenden Anforderungen genügt:

- Bereitstellung aller benötigten Felder für die Aufnahme von Daten
- Größtmögliche Vereinfachung von lesenden und schreibenden Zugriffen auf die Datenbank
- Möglichst detaillierte Speicherung von Berechnungswegen einzelner Daten, um spätere Konsistenzrechnungen zu vereinfachen
- Möglichkeit der sequentiellen Berechnung von Daten durch entsprechende Verteilung auf verschiedene Datenbank-Tabellen
- Möglichkeit der Speicherung von modellabhängigen Parametern

Hierzu wird eine bereits bestehende Struktur entsprechend umgearbeitet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Bereitstellung einer geeigneten (weitestgehend leeren) Datenbank, deren Struktur den Anforderungen genügt. Verabschiedung und Eintragung von Auswahllisten in die Datenbank. Festlegung eines Datenformates für die Übertragung von Daten in die Datenbank.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

H.-J. Herbert, S. Hagemann, V. Brendler, C. Marquardt, W. Voigt, S. Wilhelm (2006) German activities towards a thermodynamic reference data base. Eurosafe 2006, Paris 13.-14.11.2006.

S. Hagemann (2006) THEREDA – the German Database Concept for Performance Assessment Studies in Waste Disposal. 12th International Symposium on Solubility Phenomena and Related Equilibrium Processes. Workshop „Quality Assurance in Thermodynamic Databases for Performance Assessment Studies in Waste Disposal“ 26.07.2006.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1436</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZR		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 30.06.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 109.732,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Brendler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Verbundprojektes mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln und der TU Bergakademie Freiberg ist die Erstellung einer einheitlichen, umfassenden und konsistenten thermodynamischen Referenzdatenbasis zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozessen für die derzeit in Deutschland diskutierten oder bereits realisierten Wirtsformationen untertägiger Entsorgungseinrichtungen. Hierzu bilden die beteiligten Projektpartner einen Kreis von Experten, der vorhandene thermodynamische Stoffgrößen sammelt, nach einheitlich vorher festgesetzten Kriterien bewertet und in einer Datenbank zusammenfasst. Besonderer Wert wird auf eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit von Datenbankeinträgen gelegt. Es ist vorgesehen, den bereits in anderen Datenbanken vorhandenen Datenbestand zu integrieren. Die Datenbank hilft bei der Identifikation von Wissenslücken und beim Entwurf von Strategien zu deren Schließung.

Im weiteren Verlauf des Vorhabens werden Werkzeuge zur Verfügung gestellt, um automatisiert anwendungsspezifische Parameterdateien aus der Datenbank zu generieren. Die Parameterdateien werden über das Internet der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Damit wird auch eine nützliche Informations-Rückkopplung an die Bereitsteller der Datenbank ermöglicht.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Projektmanagement  
(Berichtswesen, Treffen mit Projektpartnern, Intranet)
- AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation  
(Definition von Richtlinien, Testrechnungen mit vom DB-Generator entwickelten Parameterdateien, Konsistenzprüfungen, Nutzerhandbuch)
- AP3: Datenmanagement: Datenbank, Filter, Parameterdateien  
(Erstellung und Weiterentwicklung der Datenbankstruktur, Sicherstellung eines Archivierungsmodus, Interface zur Datenrecherche und -verarbeitung)
- AP4: Datenbasis für Schwermetalle und Arsen  
(Sammeln, Auswerten und Auswählen von Daten und Übertragung in ASCII-Dateien für späteres Einlesen in die Datenbank, FZD: stoffliche Schwerpunkte As und Fe<sup>III</sup>)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP1: Projektmanagement

- Projektstarttreffen in Karlsruhe
- Aufsetzen einer Intranet-Seite zur internen Dokumentation, Kommunikation, Archivierung

#### AP4: Datenbasis für Schwermetalle und Arsen

- Beginn der Literaturrecherche

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### AP1:

- Pflege und Erweiterung der Intranetseite

#### AP2:

- Abgestimmter Entwurf der verbindlichen Richtlinien zu: Datenbewertung und -klassifizierung, Nomenklatur von Reaktionen, Temperatur- und Druckfunktionen

#### AP3:

- Erstellung einer Datenbankstruktur (gemeinsam mit GRS)

#### AP4:

- Zusammenstellung der Daten zur Komplexchemie des Arsen und des Eisen(III)

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09599 Freiberg		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1446</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben TU BAF		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2006 bis 30.06.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 99.646,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Voigt	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Verbundprojektes mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln und dem FZ Rossendorf ist die Entwicklung einer einheitlichen, umfassenden und konsistenten thermodynamischen Referenzdatenbasis zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozessen für die derzeit in Deutschland diskutierten oder bereits realisierten Wirtsformationen untertägiger Entsorgungseinrichtungen. Hierzu bilden die beteiligten Projektpartner einen Kreis von Experten, der vorhandene thermodynamische Stoffgrößen sammelt, nach einheitlich vorher festgesetzten Kriterien bewertet und in einer Datenbank zusammenfasst. Besonderer Wert wird auf eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit von Datenbankeinträgen gelegt. Es ist vorgesehen, den bereits in anderen Datenbanken vorhandenen Datenbestand zu integrieren. Die Datenbank hilft bei der Identifikation von Wissenslücken und beim Entwurf von Strategien zu deren Schließung.

Im weiteren Verlauf des Vorhabens werden Werkzeuge zur Verfügung gestellt, um automatisiert anwendungsspezifische Parameterdateien aus der Datenbank zu generieren. Die Parameterdateien werden über das Internet der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Damit wird auch eine nützliche Informations-Rückkopplung an die Bereitsteller der Datenbank ermöglicht.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Projektmanagement (Berichtswesen, Treffen mit Projektpartnern, Intranet)
- AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation  
(Definition von Richtlinien, Testrechnungen mit vom DB-Generator entwickelten Parameterdateien, Konsistenzprüfungen, Nutzerhandbuch)
- AP3: Datenmanagement: Datenbank, Filter, Parameterdateien  
(Erstellung und Weiterentwicklung der Datenbankstruktur, Sicherstellung eines Archivierungsmodus, Interface zur Datenrecherche und -verarbeitung)
- AP4: Datenbasis für Schwermetalle und Arsen (FZ Rossendorf, GRS Braunschweig)
- AP5: Datenbasis für das System der ozeanischen Salze (TU BAF)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1/AP3: Projektmanagement und Datenverarbeitung

- Durchführung eines Workshops „Quality Assurance in Thermodynamic Databases for Performance Assessment Studies in Waste Disposal“ und Diskussion des THEREDA-Projektes mit international anerkannten Experten thermodynamischer Datenbanken; Initiierung einer Kooperation mit IUPAC/NIST/TRC hinsichtlich einer Schnittstelle mit dem Datenaustauschformat ThermoML
- Durchführung eines Projektmeetings an TU BAF am 11./12.1.07

AP5:

- Literaturrecherche zu neuen Daten des ozeanischen Systems.
- Erstellung verbesserter Parametersätze für das Pitzermodell für die Systeme NaCl-KCl-MgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MgSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O bis 110 °C, erste Vergleichsrechnungen in den quaternär reziproken Systemen ohne CaSO<sub>4</sub>.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP2:

- Mitarbeit am Entwurf der verbindlichen Richtlinien zu: Datenbewertung und -klassifizierung, Nomenklatur von Reaktionen, Temperatur- und Druckfunktionen

AP5:

- Einbeziehung kalorischer Daten in die Beschreibung der MgSO<sub>4</sub>-haltigen Systeme
- Bearbeitung der CaSO<sub>4</sub>-haltigen Systeme
- Abschluss der Parameterisierung des hexären Systems der ozeanischen Salze bis 07/2007

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

W. VOIGT, V. BRENDLER, K. MARSH, R. RAREY, H. WANNER, M. GAUNE-ESCARD, P. CLOKE, TH. VERCOUTER, E. BASTRAKOV, S. HAGEMANN :  
 “*QUALITY ASSURANCE IN THERMODYNAMIC DATABASES FOR PERFORMANCE ASSESSMENT STUDIES IN WASTE DISPOSAL*”

(eingereicht für “Pure and Applied Chemistry”)

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1456</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Bestimmung der Änderung des räumlichen und zeitlichen Ausbreitungsverhaltens von chemotoxischen Schwermetallen nach Wechselwirkung mit Natural Organic Matter (NOM) in geologischen Formationen von Untertagedeponien		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2006 bis 30.09.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 466.693,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Mansel	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Hauptziele dieses Projektes sind eine Erweiterung und Absicherung der thermodynamischen Datenbasis sowie eine kinetische Beschreibung des Verteilungsverhaltens von chemotoxischen Schwermetallen, verursacht durch die Wechselwirkung mit dem Heteroatom Schwefel des NOM. Daher sind Untertagedeponie-relevante georadiochemische Untersuchungen, unter Nahfeldbedingungen im räumlichen und zeitlichen Ausbreitungsverhalten des ternären Systems: chemotoxische Schwermetalle / NOM / Geomatrix im Rahmen des Projektvorhabens durchzuführen. Diese sollen unter den naturnahen Bedingungen der potentiellen Wirtsgesteine realisiert werden. Mit Hilfe von ICP-OES, ICP-MS und CHNOS-Analytik wird das aus nativen Substanzen extrahierte NOM hinsichtlich seiner Haupt- und Nebenbestandteile charakterisiert. Mit Hilfe der Radiotracer-technik kann der sehr niedrige Konzentrationsbereich der Schwermetalle untersucht werden. Durch Radiomarkierung des NOM ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{125/131}\text{I}$ ,  $^{77}\text{Br}$ ) einerseits und der Schwermetalle ( $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{115\text{m}}\text{Cd}$ ,  $^{203/212}\text{Pb}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ) andererseits werden Speziationsuntersuchungen in den drei binären Systemen (M+NOM, M+Geomaterial, NOM+Geomaterial) und dem ternären (M+NOM+Geomaterial) System unter naturnahen Bedingungen durchgeführt. Aus den natürlichen Lagerstätten bildenden Vorgängen soll ein Rückschluss auf das räumliche und zeitliche Rückhaltevermögen für toxische Schwermetalle im Wirtsgestein gezogen werden. Unter Verwendung von XANES und EXAFS sollen die Oxidationszustände des im NOM gebundenen Schwefels und Eisens bestimmt werden. Der Oxidationszustand des Schwefels hat einen wesentlichen Einfluss auf das Komplexierungsverhalten von NOM gegenüber Schwermetallen, bezogen auf die „starken Bindungsstellen“ des NOM. Das Redoxverhalten zwischen Eisen(II, III) und NOM hat einen wesentlichen Einfluss auf das Sorptions- und Migrationsverhalten des mit Schwermetallen beladenen NOM. Die erhaltenen Sorptions- und Komplexierungsdaten chemotoxischer Schwermetalle sollen in die Datenbank ISDA zur Modellerweiterung / Modellzusammenführung integriert werden. Für die Relevanz von Sicherheitsbewertungen sind diese Modelle hinsichtlich Thermodynamik und Kinetik zu aktualisieren bzw. zu erneuern.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Synthese und Reinigung von kommerziell nicht erhältlichen Radioisotopen für die Traceranalytik in geochemisch relevanten Flüssig/Fest-Phasensystemen
- Extraktion, Charakterisierung und Radiomarkierung von NOM

- Ad- / Desorptionsstudien von chemotoxischen Schwermetallen an verschiedenen Geomaterialien mittels Radioisotopen unter naturnahen Bedingungen
- Zeitabhängige Verteilungsmessungen (Ad- / Desorption) von chemotoxischen Schwermetallspezies des NOM an Geomaterialien (Granit, Sand, Kaolinit)
- Komplexierungsstudien von chemotoxischen Schwermetallen mit NOM unter Verwendung von Radioisotopen und unter naturnahen Bedingungen
- Speziation von chemotoxischen Schwermetallen im ternären System Schwermetall / NOM / Geomaterialien mit der Methode der radioaktiven Mehrfachmarkierung
- Speziation der Oxidationszustände des im NOM gebundenen Schwefels (XANES) und Bestimmung der Art der Bindung von chemotoxischen Schwermetallen; Speziation der Redoxzustände des im NOM gebundenen Eisens (II, III) (EXAFS)
- Abschließende Auswertung, Dokumentation und Schlussberichterstellung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Literaturrecherche zur Röntgenabsorptionsspektroskopie des Schwefels und des Eisens
- Absprache mit den Kooperationspartnern der BAM
- Reinigung von NOM für die Charakterisierung der Haupt- und Nebenbestandteile und zur Präparation für die Röntgenabsorptionsspektroskopie

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Extraktion, Reinigung und Charakterisierung von NOM-Spezies
- Synthese und Reinigung von kommerziell nicht erhältlichen Radioisotopen
- Ad- / Desorptionsstudien von chemotoxischen Schwermetallen an verschiedenen Geomaterialien mittels Radioisotopen unter naturnahen Bedingungen
- Präparation von NOM-Spezies für die XANES und EXAFS-Untersuchungen

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

M. A. Kim, P. J. Panak, D. C. Breban, A. Priemyshev, J. I. Yun, A. Mansel, J. I. Kim: „Interaction of actinides(III) with aluminosilicate colloids Part IV. Influence of Humic Acid.“ Colloids Surf. A, in press (2007).

A. Mansel, H. Kupsch: „Radiolabelling of Humic Substances with  $^{14}\text{C}$ .“ Appl. Radiat. Isot., submitted in revised form (2007).

A. Mansel: „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer.“, Actinidenverbund, Dresden, 04.-05.11.2006.

H. Lippold: „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer.“, Actinidenverbund, Dresden, 04.-05.11.2006.

H. Lippold, N. D. M. Evans, P. Warwick, H. Kupsch: „Competitive effect of iron(III) on metal complexation by humic substances: Characterisation of ageing processes.“ Chemosphere, in press (2007).

A. Mansel, D. Röbner, 10<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Radiochemical Analysis – ERA, Oxford/UK, 13.-15.09.2006.

A. Mansel, H. Kupsch: „Interaction between [ $^{65}\text{Zn}$ ]Zinc(II) and Humic Substances in the Absence and Presence of Kaolinit under Conditions near to Nature.“ 13<sup>th</sup> Meeting of the IHSS, Karlsruhe, 30.07.-04.08.2006.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Konrad-Wachsmann-Allee 1, 03046 Cottbus		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1466</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 1 (BTU): Hydrogeologie und Geochemie des Gesamtsystems		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.217.647,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Voigt	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des TV1 ist die Erkundung der Lösungsdynamik im und am Salzsattel durch eine kombinierte geohydraulische und geochemische Analyse des Gesamtsystems und seiner Teilsysteme (unverfestigtes und verfestigtes Deckgebirge, Salinargebirge, Grubenbaue) unter Nutzung moderner Untersuchungs- und Modellierungswerkzeuge. Das TV1 wird in enger Zusammenarbeit mit den anderen Teilvorhaben des Verbundes durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### AP1: Geohydraulische Analyse und Entwicklung eines hydrogeologischen Modells

AP1.1: Erkundung durch Flachbohrungen

AP1.1.1: Konzeption der Bohrungen

AP1.1.2: Ausschreibung und Vergabeverfahren der Bohrungen

AP1.1.3: Kontrolle der Bohrarbeiten und begleitende Tests

AP1.1.4: Auswertung der Bohrerkundung

AP1.2: Monitoring und Spezialuntersuchungen zur Analyse von Strömungsvorgängen und Austauschprozessen

AP1.2.1: Konzeption, Erweiterung und Auswertung des Monitoring zur GW-Beschaffenheit und GW-Dynamik

AP1.2.2: Orts- und zeitaufgelöstes Monitoring der Grundwasserdynamik im Deckgebirge durch Sohldruckmessungen

AP1.3: Überführung des geologischen Modells und des Hohlraummodells in ein hydrogeologisches Strukturmodell

### AP2: Geochemische Analyse und Modellierung der Lösungsvorgänge

AP2.1: Typisierung und Charakterisierung der Lösungen anhand ihrer hydrochemischen Beschaffenheit und ihres Lösungspotentials

AP2.2: Geochemische Modellierung der Lösungsvorgänge ausgewählter Szenarien/Reaktionssysteme

AP2.3: Räumliche Analyse der lösungsanfälligen Bereiche im hydrogeologischen Modell

AP3: Zusammenfassende Bewertung der Dynamik und Austauschprozesse im Gesamtsystem unter Berücksichtigung geochemischer und hydraulischer Modellierung



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

- Organisatorische und verwaltungstechnische Aufgaben,
- Einstellung und Einweisung der neuen Mitarbeiter,
- Anschaffung und Einarbeitung in neue Software,
- Sichtung und Bewertung der bereits existierenden Datengrundlagen für die Entwicklung des hydrogeologischen Strukturmodells und der geochemischen Modellierung,
- Prüfung von Altmessstellen auf Existenz und Funktionsfähigkeit in Zusammenarbeit mit der IHU Stendal. Ergebnis ist das sog. Verbundmessnetz, welches im Zuge des Flachbohrprogramms erweitert wird,
- Mitarbeit zur Konzeption der Flachbohrungen in Abstimmung mit dem Bohrprogramm der BGR, im Ergebnis wurden Zielräume für Bohrungen herausgearbeitet,
- Mitarbeit an der Konzeption und Abstimmung des halbjährlichen Monitorings zur Analyse von GW-Beschaffenheit und GW-Dynamik,
- Zusammenstellung der Unterlagen und Erstellung von Leistungsbeschreibungen für die Ausschreibung und Vergabe der Flachbohrungen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Ausschreibung und Vergabeverfahren der Flachbohrungen, Kontrolle der Bohrarbeiten und begleitende Tests,
- Erweiterung und Auswertung der ersten Messkampagne des Monitorings zur GW-Beschaffenheit mit Plausibilitätsprüfung,
- Typisierung und Charakterisierung der Lösungen anhand ihrer hydrochemischen Beschaffenheit und ihres Lösungspotentials,
- Erste Messkampagne zum orts- und zeitaufgelösten Monitoring der Grundwasserdynamik im Deckgebirge durch Sohldruckmessungen,
- Überführung des geologischen Modells und des Hohlraummodells in ein hydrogeologisches Strukturmodell.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1476</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 2 (BGR): Geophysikalische Untersuchungen, Seismische Erkundung, Geologisches 3D-Modell, Bohrungen, Server-Datenbank, Koordination des Gesamtvorhabens		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.028.893,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Gerardi	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Teilvorhaben (TV) 2 wird ein digitales Höhenmodell und ein geologisches 3-D Modell der Salzstruktur und des Deckgebirges zusammen mit den tektonischen Strukturen und den Gruben Hohlräumen für Staßfurt erstellt. Ungeklärte geologische und hydrogeologische Sachverhalte werden durch Bohrungen untersucht. Die Ergebnisse werden mit einer Datenbank verfügbar gemacht.

Mittels airborne Laserscanner- und magnetischen Messungen werden tektonische Strukturen des Arbeitsgebietes

abgebildet. Die Bodengeophysik präzisiert die gefundenen Strukturen. An Messstellen in Flachbohrungen erfolgen Langzeitgrundwasserüberwachungen. Die gewonnenen Daten dienen der hydraulischen Modellierung im TV1. Durch das seismologische Langzeit-Monitoring sollen Bruchereignisse identifiziert und geortet werden, um so das Hohlraummodell und die Standsicherheitsprognose (TV3) verifizieren zu können.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das TV2 umfasst die Teilprojekte Geophysik, geologische 3D- und Hohlraummodellierung, Server-Datenbank und Koordination des Gesamtprojekts.

Geophysik (AP1) Laser Scanning/Multispektralaufnahmen: Digitales 3D- Höhenmodell zur Abbildung der der Erdoberfläche und geologisch-tektonischer Gegebenheiten

Geophysik (AP2) Hubschraubergeophysik: Zur geophysikalischen Vermessung größerer Flächen mittels Elektromagnetik, Magnetik und Radiometrie.

Geophysik (AP3) Hochauflösende Bodengeophysik: Follow-up der Laserscannermessungen /Multispektral-aufnahmen und der Hubschraubergeophysik zur Messung von Wasserwegsamkeiten in gestörten Bereichen.

Geophysik (AP4) Hohlschneckenbohrungen mit dem BGR-Bohrgerät: Erstellen von Flachbohrungen mit dem Hohlschnecken-Bohrgerät der BGR bis max. 60 m Teufe und Ausbau zu Grundwassermessstellen.

Geophysik (AP5) Grundwasser Langzeit-Monitoring in Flachbohrungen: Bestimmung der Salzfracht der Wasser auf Störungszonen (Anomalien durch hochsaline Wässer, Frischwasser).

Geophysik (AP6) Temperaturmessungen in Bohrungen: Messung der Temperaturverteilung.

Geophysik (AP7): Seismisches Monitoring: Betrieb neuer Seismometerstationen im vorhandenen Messnetz zur Lokalisierung seismischer Ereignisse und Auswertung dynamischer Parameter.

Geologische 3D- und Hohlraummodellierung: Erstellung eines geologischen 3D-Modells und eines 3D-Hohlraummodells.

Server-Datenbank und Koordination des Gesamtprojekts: Eine Server-Datenbank wird als Fachinformationssystem für das Projekt eingerichtet. In einem workflow erfolgt die Proben- und Bohrkernverwaltung sowie die bildliche (Scanner) und textliche Bohrkerndokumentation.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP Aerogeophysik: Das Befliegungsgebiet wurde unter Berücksichtigung der Infiltrationsgebiete festgelegt.

AP Bodengeophysik / Grundwasser Monitoring: Abstimmung der Kombination der Flachbohrungen beim hydrogeologischen und geophysikalischen Monitoring.

AP Laserscanbefliegung: Erstellung der Leistungsbeschreibung und Auftragserteilung der Befliegung ist erfolgt.

AP Seismisches Monitoring: Erste Begutachtung des Untersuchungsgebietes für die Standortauswahl von fünf mobilen Seismometerstationen wurde durchgeführt und bereitgestellte Messdatensätze analysiert.

Geologische 3D- und Hohlraummodellierung: Es erfolgten die Beschaffungen Spezialrechnern und die Bewertung von Ausgangsdatenmaterial für die geologische 3D-Modellierung (z. B. Bohrdatenbank und AutoCAD-Dateien zum Staßfurt-Egelner Sattel).

Server-Datenbank und Koordination des Gesamtprojekts: Der Bohrkernscanner nebst Zubehör und Software wurden beschafft und ein Schulungskurs durchgeführt. Die Datenbank wurde beauftragt, plangemäß erstellt und die vorhandene Bohrdatenbank eingepflegt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP Aerogeophysik: Durchführung der Befliegung ca. Ende Mai/ Anfang Juni, Einstellung eines Doktoranden.

AP Bodengeophysik / Grundwasser Monitoring: Detailabstimmung über die erste Phase der Flachbohrungen der BGR und Ausbau von Grundwassermessstellen. Vorbohrungen mit Drill-Bohrgerät zur Erkundung der Lockersedimentmächtigkeiten- und Beschaffenheit im Arbeitsgebiet. Hohlbohrschneckenbohrungen, Ausbau von Dauermessstellen und bodengeophysikalische Profilmessungen über bekannten Störungen.

AP Laserscanbefliegung: Durchführung der 1. Befliegung des Arbeitsgebiets und Abstimmungsgespräche über Kooperation mit DLR bezüglich Kombinationsauswertung verschiedener Messmethoden.

AP Seismisches Monitoring: Standortauswahl und kalibrieren der Seismometerstationen, Testmessungen und endgültige Installation der fünf mobilen Seismometerstationen an den ausgewählten Standorten. Beginn der kontinuierlichen Registrierung. Softwareentwicklung, die es ermöglicht die Daten der installierten Mobilstationen und des lokalen Überwachungsnetzes in eine gemeinsame Datenauswertung zu integrieren.

Geologische 3D- und Hohlraummodellierung: In 2007 sind die Aufarbeitung, Bewertung und Konsistenzprüfung der Ausgangsdaten für die 3D-Modellierung des geologischen Aufbaus des Staßfurt-Egelner Sattels, inklusive Hohlraummodell vorgesehen. Außerdem erfolgen die Erarbeitung eines vorläufigen geologischen 2,5D-Modells (mit integriertem Hohlraummodell) und die Schaffung von Ausgabeformaten für die Weitergabe der geologischen Modellvorstellungen für hydrogeologische und geomechanische Modellierungen durch Projektpartner.

Server-Datenbank und Koordination des Gesamtprojekts: Plangemäß werden die Ausgabefunktionalitäten der Datenbank erstellt und die von den Projektpartnern gewünschten Schnittstellen zum Datentransfer programmiert. Ferner werden die Datenzugriffsmöglichkeiten über das Internet geschaffen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

GERARDI, J. (2006): Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerks-. Gesamtvorhabensbeschreibung des Forschungsvorhabens, unveröff. Bericht, 79 S., Hannover.

GERARDI, J. (2006): Öffentliche Vorstellung des Gesamtvorhabens anlässlich des Beginns der Bohrarbeiten des Landesamtes für Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt in Staßfurt am 06.12.2006 (Vortrag und 6 Poster).

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1486</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 3 (TUC): Geomechanische Modellierung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 327.815,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Lux	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Entwicklung von Modellierungsansätzen für die numerische Simulation bruchhafter Deformationen und der ablaufenden geomechanischen Prozesse zur Prognose der Oberflächenentwicklung über abgesoffenen oder gefluteten Salzbergwerken.

- a) Entwicklung eines Instrumentariums, mit dem die Ursachen für die Entstehung von Tagesbrüchen quantifiziert und prognostiziert werden können. Anhand von Laboruntersuchungen soll eine Einschätzung des mechanischen Materialverhaltens der in situ anstehenden Gesteine unter besonderer Berücksichtigung der für die Initialisierung rupturer Deformationsprozesse mit der potentiellen Folge von Tagesbrüchen ursächlichen Mechanismen erfolgen.
- b) Entwicklung von Modellierungsansätzen für die numerische Simulation bruchhafter Deformationen.
- c) Differenzierte rechnerische Simulation der ablaufenden geomechanischen Prozesse und exemplarische Prognose des Gebirgsverhaltens bei gekoppelter Berechnung bruchhafter und bruchfreier Deformationen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Literaturrecherche zu Tagesbruchmechanismen (Fallbeispiele / Modellierungsansätze).
- AP2: Herstellung von Lagerungsbehältern für Kernmaterial Salzton / Kalisalz.
- AP3: Felsmechanische Laborversuche / Ableitung von Grenzwerten und Randbedingungen für die Initialisierung bruchhafter Deformationen.
- AP4: Entwicklung von Modellierungsansätzen für die numerische Simulation bruchhafter Deformationen und Implementierung in FDM/FEM Software.
- AP5: Exemplarische Prognose des Gebirgstragverhaltens bei gekoppelter Berechnung bruchhafter und bruchfreier Deformationen.
- AP6: Analyse der Berechnungsergebnisse hinsichtlich der Möglichkeit zur Ableitung eines Bewertungsschemas für die Einschätzung der Tagesbruchwahrscheinlichkeit (beschränkt auf ja/nein, nicht aber wann) am Beispiel der Stadt Staßfurt in Verbindung mit den bergbaulich und hydrogeologisch orientierten Teilvorhaben.
- AP7: Schlussbericht

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

- Konstruktion und Bau Probenlagerungsbehälter
- Einarbeitung in vorhandene FDM-Software FLAC
- Reaktivierung bestehender 2D-Berechnungsmodelle für den Standort „Steißfurt“ inkl. Testläufe

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Fertigstellung Probenlagerungsbehälter

Probenahme

Laborversuche zum Spannungs-Verformungs-Verhalten der anstehenden Gesteine

Literaturrecherche „Tagesbruchmechanismen“

Generierung 3D-Testmodell

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Kali-Umweltechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1496</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 4 (K-UTEK): Grundlagen für Geomodellierung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 386.032,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Bode	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Teilvorhaben 4 sind aktuelle geologisch – geotechnische Daten für den Referenzstandort Staßfurt zu ermitteln, zurückliegende Bergschadensentwicklungen zu rekonstruieren und induktiv Aussagen abzuleiten, die als Basisdaten für die vorgesehenen Modellerstellungen dienen. Die Bearbeitung und Ergebnisdarstellung der einzelnen Arbeitspakete sind mit den Teilvorhaben

1. (BTU): Beitrag zur geochemischen Modellierung
2. (BRG): Beitrag zur geologischen Modellierung bzw. Hohlraummodellierung
3. (TUC): Beitrag zur geomechanischen Modellierung, Gefährdungsanalyse
5. (IHU): Beitrag zur geologischen Modellierung
6. (WASY): Beitrag zur geohydraulischen, hydrogeologischen Strukturmodellierung zu koordinieren.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Beistellung geologischer Informationen zur Salzstruktur einschließlich Recherchearbeiten
- AP2: Ableitung digitales Geländemodell aus Laserscan 1. Befliegung (Planung, Auswertung)
- AP3: Ableitung digitales Geländemodell aus Laserscan 2. Befliegung (Planung, Auswertung)
- AP4: Planungs- und Forschungsleistungen für Tiefbohrung des LAGB; Erweiterung Datenbasis für Geomodellierung
- AP5: Ingenieurtechnische Koordinierung und geowissenschaftliche Bearbeitung der im Verbundprojekt geplanten Tiefbohrungen
- AP6: Aufbau eines 3D-Hohlraummodells mit Darstellung der Hohlraumentwicklung
- AP7: Untersuchungen zur Lösekinetik an Salinargesteinen
- AP8: Zusammenstellung mechanischer Eigenschaften des deformierten und gefluteten Gebirges
- AP9: Ausweisung der durch Bruchvorgänge vorgeschädigten Gebirgsbereiche
- AP10: Darstellung von Ergebnissen des seismischen Monitorings mit der lokalen seismischen Station Staßfurt
- AP11: Untersuchungen zur Einschätzung der Tagesbruchwahrscheinlichkeit
- AP12: Validierung der Berechnungsergebnisse zu OT-Deformation mit Hilfe von In-situ-Messungen

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

- AP2: Durchführung von Planungsarbeiten für die 1. Befliegung zur Gewinnung von Laserscan- und Luftbilddaten im Bereich des Staßfurter Sattels. Durchführung terrestrischer Arbeiten zur Einmessung von Referenzflächen im Befliegungsgebiet
- AP6: Vorbereitungsarbeiten für Datenaufbereitung für das zu erstellende Hohlraummodell und Datenrecherche
- AP9: Vorbereitende Arbeiten zur Datenrecherche von historischen Luftbilddokumenten zur Darstellung der durch Bergschadensvorgänge entstandenen Deformationen der Tagesoberfläche
- AP10: Abstimmung mit TV2 (BGR) über die Nutzung der Registrierdaten der lokalen seismischen Überwachungseinrichtung Staßfurt

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP1: Recherche und Aufbereitung von geologischen Daten über die durch den Bergbau aufgeschlossene Salzlagerstätte insbesondere an der SW-Flanke des Staßfurter Sattels
- AP2: Auswertung der Daten der 1. Laserscanbefliegung und Abgleich des DGM's mit den Daten des Feinnivellements 2006
- AP4: Aufarbeitung und Bereitstellung von Bohrkern-, BLM- und hydraulischer Testdaten von der LAGB – Bohrung B in Staßfurt, Daten für Hohlraummodell
- AP6: Aufbereitung von Grubenbildern für die 3D-Modellierung im Rahmen der Erarbeitung eines Hohlraummodells
- AP7: Vorbereitende Arbeiten für die Durchführung lösungskinetischer Untersuchungen unter Einbeziehung des Bohrkernmaterials der Bohrung B

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> IHU Geologie und Analytik Gesellschaft für Ingenieur- Hydro- und Umweltgeologie mbH, Dr.-Kurt-Schumacher-Str. 23, 39576 Stendal		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1506</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 5 (IHU): Erfassung, Bewertung und Darstellung der Strukturgeologie und Hydrochemie		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 397.238,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Stahl	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des geplanten Vorhabens ist die Entwicklung eines interdisziplinären Prognosemodells für urbane Räume über abgesoffenen oder gefluteten Salzbergwerken mit bergschadensbedingten Veränderungen im Deckgebirgsstockwerk als Grundlage für ein ökologisch begründetes nachhaltiges Gestaltungs- und Flächennutzungskonzept. Diese methodischen Forschungsarbeiten mit überregionalem Anwendungsbezug sollen exemplarisch am Standort Staßfurt bearbeitet werden.

Die Aufgabenschwerpunkte des Teilvorhabens TV5 liegen in der Erfassung, Bewertung und Darstellung der Struktur- und Hydrogeologie. Dazu werden die vorhandenen Altdaten aufbereitet und mit den im Verbundvorhaben neu gewonnenen Informationen z. B. aus Bohrungen, gebirgsmechanischen Untersuchungen, geophysikalischen Messungen oder hydrochemischen Analysen zusammengeführt. Diese Daten werden in einem dreidimensionalen strukturgeologischen Modell zusammengefasst und für in die geohydraulischen Modellierung der Dynamik des Untersuchungsgebiet überführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Geologisches Modell
2. Erweiterung der Datenbasis durch Bohrungen und geophysikalische Messungen
3. Hydrogeologische Analyse von Strömungsvorgängen und Austauschprozessen
4. Erstellen der Abschlussdokumentation



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

Die Schwerpunkte der bisherigen Arbeiten lagen in den Arbeitspaketen 1, 2 und 3. Mit Projektbeginn wurden die vorliegenden geologischen und hydrogeologischen Altdaten zusammengestellt, geprüft und aufbereitet, um sie dann den Projektpartnern zur Verfügung zu stellen. Der Datenbestand wurde und wird durch Recherchen laufend ergänzt und erweitert.

Am 06.12.2006 begannen die Bohrarbeiten der ersten Bohrung des LAGB. Durch die IHU erfolgt die geologische Bohrbetreuung sowie im Rahmen von AP2 die Koordinierung und Bereitstellung des Probenmaterials für die Projektpartner. Das Scannen der Bohrkerne erfolgt zusammen mit dem Projektpartner der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz (TV7).

Innerhalb der Bearbeitung des AP3 wurde mit der konzeptionellen Planung des Monitorings der Flachpegel begonnen. Die Existenz und Funktionsfähigkeit des bestehenden Messnetzes (Altpegel) wurde vor Ort recherchiert und geprüft. Darauf aufbauen wurden mit den Projektpartnern die Standorte für die neu zu errichtenden Flachpegel (BTU TV1) abgestimmt.

Im Rahmen dieser Arbeiten erfolgten mehrere Konsultationen mit den Projektpartnern der BTU, der BGR, der K-UTEC sowie der WASY GmbH. Am 13.11.2006 erfolgte für die genannten Projektpartner eine Einweisung in die örtlichen Gegebenheiten und eine Abstimmung der weiteren Vorgehensweise.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten im Teilvorhaben werden wie geplant fortgeführt. Die Schwerpunkte sind, wie im zurückliegenden Berichtszeitraum, die Arbeitspakete 1, 2 und 3. Neu begonnen werden die Arbeitspakete „Zuarbeit und Mitwirkung bei der Erstellung des geologischen 3D-Modells“ sowie „Erstbeprobung der neuen Flachbohrungen (BTU)“ und „Grundwassermonitoring mit Wasserspiegelmessungen, Probenahme und Analytik“. Die gewonnenen Daten der Geologie (LAGB Tiefbohrung) und Hydrogeologie und Hydrochemie (Flachpegel) werden erfaßt, geprüft, aufbereitet und den Partner zur Verfügung gestellt.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> WASY Gesellschaft für Wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH, Waltersdorfer Str. 105, 12526 Berlin		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1516</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 6 (WASY): Strömungs- und Transportmodellierung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 220.307,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Diersch	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Forschungsvorhaben zielt auf die Modellierung der Strömungs- und Salzwassertransportprozesse orientiert in einer mehrstufigen Vorgehensweise auf den Aufbau eines regionalen dreidimensionalen Strömungs- und Salzwassertransportmodells mit notwendiger Detailliertheit zur Simulation entsprechender Prozesse in aufgelassenen Salzbergwerken und ihrer Deckgebirge. Die Arbeitsziele bei der Strömungs- und Stofftransportsimulation sind (1) die Modellierung der dichtegekoppelten Strömungs- und Salzwassertransportprozesse in repräsentativen Strukturen (Ursache-Wirkungs-Studium) und im Gesamtsystem (Quali- und Quantifizierung des Salzaustrages und -migration) des Untergrundes im Untersuchungsgebiet der Stadt Staßfurt, (2) eine begleitende Modellunterstützung von Erkundungsmaßnahmen (Standortauswahl, physikalisch basierte Interpretation und Validierung von Beobachtungen und Messungen) und (3) die Durchführung von Szenarienanalysen zur Abschätzung und Prognose der Entwicklung der Auslaugungsprozesse.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### TA 1: Prinzipstudien zu Strömungs- und Transportprozessen an Profilschnitten

- Analyse des geologischen und hydrogeologischen Datenbestandes
- Einbau von Wechselwirkungsprozesse zwischen Salinar und zirkulierenden Lösungen in das Simulationssystem FEFLOW
- Feststellung der Sensitivität der Parameter und Randbedingungen, die für die standort-spezifische Modellierung von Bedeutung sind
- Erarbeitung eines besseren Verständnisses der Strömungsphänomene und Wechselwirkungsprozesse im Untergrund des Standortes Staßfurt

### TA 2: Aufbau von Finite-Element-Modellen für 2D- und 3D-Schematisierungen

- Untersuchung der numerischen Anforderungen betreffs Genauigkeit, Robustheit und Stabilität
- Entwicklung und Erprobung von Vernetzungen mit unterschiedlicher Feinheit und Detailliertheit
- Festlegung und Begründung geeigneter Modellgebietsgrenzen und Randbedingungen

TA 3: Simulationen von Strömungs- und Transportprozessen an ausgewählten Modellszenarien

- Herausarbeiten der prinzipiellen Mechanismen und Abhängigkeiten, die für die Strömungszirkulation und Laugungsprozesse maßgeblich sind
- Entwicklung eines 3D-Modells, in dem die Erfahrungen und Kenntnisse aus den vorangegangenen Prinzipuntersuchungen Berücksichtigung finden

TA 4: Vergleich von Modellierungsergebnissen mit In-situ-Befunden

- Überprüfung der hydrogeologischen, hydrodynamischen und hydrochemischen Modellvorstellungen anhand der numerischen Modellierung und der Feldversuche
- Vergleich der Hypothesen für die maßgebenden hydraulischen und geochemischen Abhängigkeiten für den Standort mit In-situ-Befunden
- Prognose der Strömungs- und Salzwassertransportprozesse

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

In Zusammenarbeit mit der BTU Cottbus wurde ein gemeinsames Arbeitsprogramm erstellt und Aufgabenstellungen für die anzugehenden Prinzipstudien (TA1) vorbereitet. Es erfolgten eine *In-situ*-Begehung und Sichtung des Untersuchungsgebietes sowie Diskussionen der erforderlichen Felddaten und Kartenunterlagen. Von besonderem Interesse war hierbei die gemeinsame Festlegung der Standorte für die sog. Flachbohrungen, die für die Modellierung der Profilschnitte die notwendigen Daten bereitstellen werden. Die Anordnung, der technische Ausbau und die vorgesehene Beprobung der Bohrungen sind für die Präzisierung der hydraulischen und hydrochemischen Randbedingungen bei der Modellierung wesentlich.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

In Zusammenarbeit mit der BTU Cottbus begann die Zusammenführung der hydrogeologischen und hydrochemischen Felddaten in eine Datenbank. Hierzu werden weitere Abstimmungen mit der BGR Hannover notwendig, um die dort zentral erstellten Daten unter Open-Geo in die hydrogeologische Modellerstellung und letztlich in das Simulationssystem FEFLOW zu überführen. Besonderes Augenmerk verdienen hierbei alle GIS/CAD-Daten zur Topografie, Geologie, Hydrologie, zum Hohlraumssystem sowie zu den bohrspezifischen Daten. Auf dieser Grundlage erfolgt in den nächsten Arbeitsschritten die Erstellung des hydrogeologischen Modells und nachgeordnet der Aufbau der Strömungs- und Transportmodelle.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55122 Mainz		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1526</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 7 (JoGU): Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 254.420,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Enzmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Dieses Vorhaben ist Teil des Arbeitspaketes zur zerstörungsfreien Strukturanalyse repräsentativer Bohrkernproben, das sich in vier Aufgaben gliedert: (1.) Computertomographie der Bohrkernproben an der BAM Berlin, (2.) dreidimensionale Visualisierung der inneren Struktur der Bohrkernproben aus den CT-Daten, (3.) Simulation von Fluidmigration in den durch CT ermittelten real-dreidimensionalen Porenraumstrukturen mit Hilfe des Simulationsprogramms „PoreFlow“, sowie (4.) der Validierung der Modellsimulationen mit Hilfe von orts- und zeitauflösenden Radiotracerexperimenten (PET-Tomogramme des TV8: IIF Leipzig). Ziel ist die strukturelle Untersuchung der durchflusswirksamen Klüftigkeit auf der Skala des Porenraums ( $\mu\text{m}$ -cm) in repräsentativen Bohrkernproben aus den Tiefbohrungen. Die Auswertung der aus den Strukturdaten animierten Fluidmigration soll zur Verbesserung durch kleinskaligen Präzisierung der Eingangsparameter als Input für die geochemischen Lösungssimulationen (TV1: BTU) und großskalig-hydrogeologischen Grundwassertransportmodelle (TV6: WASY) führen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Durchführung der CT Experimente an Bohrkernproben
  - 1.1 Bereitstellung der Bohrkernproben in Absprache mit den beteiligten Projektpartnern
  - 1.2 Scannen aller Bohrkernproben mit dem DMT-CoreScanner und Datenintegration in Datenbank Saltcorebase (Diplomarbeit M. Janz)
  - 1.3 Durchführung der CT Experimente und Optimierung der Messverfahren und räumlichen Auflösung (FuE mit BAM)
  - 1.4 Übergabe der Proben an das IIF für die PET Experimente
  - 1.5 Unterstützung bei bohrlochgeophysikalischen Messungen
2. Auswertung der CT Daten
  - 2.1 3D Visualisierung der Datensätze
  - 2.2 Abgleich mit CoreScanner-Daten und Integration und Dokumentation in Saltcorebase
  - 2.3 Generierungen von Simulationsdatensätzen aus der Datenbasis
  - 2.4 Durchführung von Fluid- und Tracermigrationssimulationen und Dokumentation der Ergebnisse

- 2.5 Verifikation und Abgleich der Simulationsergebnisse mit den PET -Experimenten und Dokumentation in Saltcorebase
- 2.6 Präzisierungen von Input-Parametern für die Auslaugungs- und Transportmodelle der beteiligten Projektpartner

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

AP1 (1.1 und 1.2): Im Rahmen der Diplomarbeit von Herrn M. Janz werden alle gewonnenen Bohrkernproben an der Bohrstelle laufend mit dem DMT Corescanner des BGR erfasst und in die Datenbank Saltcorebase integriert. Bei Auftreten geeigneter Bohrkernproben für die CT und PET Experimente werden die Proben zeitnah entnommen. Dies kam aufgrund der verzögerten Bohrarbeiten noch nicht vor, da auch die relevanten Formationen noch nicht erreicht sind.

AP1 (1.3): Mit der BAM wurde der geplante FuE Kooperationsvertrag geschlossen. Eine Salzprobe zum Testen liegt der BAM vor und wird bearbeitet.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die weiteren Arbeitspakete werden trotz der Verzögerungen durch den verspäteten Start der Bohrungen und der technischen Probleme wie geplant weitergeführt. Für das TV7 und TV8 ist mit der baldigen Gewinnung relevanter Bohrkernproben für das geplante experimentelle Untersuchungsprogramm zu rechnen.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1536</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 8 (IIF): Tomographische Radiotraceruntersuchungen und Fluoreszenztraceruntersuchungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 173.362,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kulenkampff	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit tomographischen Radiotracerverfahren (PET) werden an Bohrkernen aus verschiedenen Gesteinsformationen des Staßfurter Gebietes lokale Transport- und Lösungsprozesse untersucht und in Verbindung mit den an der JGU Mainz (TV7) durchgeführten CT-Messungen Daten zur Modellierung dieser Prozesse ermittelt. Die zu untersuchenden Bohrkern- und Lösungszusammensetzungen werden in Absprache mit den Verbundpartnern (BTU Cottbus, TV1; TU Clausthal, TV3; K-UTEK Sondershausen, TV4; IHU Stendahl, TV5) ausgewählt. Die zu erwartenden Ergebnisse erweitern das Prozessverständnis und die Datenbasis für die geochemische und geohydrologische Modellierung. In Kooperation mit den Verbundpartnern werden die wissenschaftlichen Grundlagen für die entsprechenden Modelle erweitert und damit die Genauigkeit der Modellansätze erhöht. Eine Übertragung auf die Feldskala wird mit Hilfe von Fluoreszenztraceruntersuchungen in Zusammenarbeit mit der BTU Cottbus (TV1) unternommen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Entwicklung und Test geeigneter PET-Tracer
- AP2: Beschaffung und Inbetriebnahme eines Animal-PET
- AP3: Probenahme und Anpassung der Injektionsmethodik
- AP4: PET-Untersuchung des Fluidtransportes an Proben aus dem Deckgestein
- AP5: PET-Untersuchung der Transport- und Löseprozesse an Proben aus der Lagerstätte
- AP6: PET-Untersuchung nach geomechanischer Belastung
- AP7: Bestimmung der räumlichen Verteilung der Transport- und Kinetikparameter
- AP8: Fluoreszenztraceruntersuchungen
- AP9: Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Entwicklung und Test geeigneter PET-Tracer: Die Anwendung von  $^{124}\text{I}$  für Versuchsdauern bis zu 14 Tagen und von  $^{58}\text{Co}$  bei längerfristigen Vorgängen erscheint aufgrund der bisherigen Untersuchungen, z. B. an Kristallingestein, aussichtsreich.

AP2: Beschaffung eines Animal-PET: Der Aufwand und die Dauer der Durchführung aller geplanten Untersuchungen machte die Beschaffung eines kommerziellen PET-Scanners notwendig. Eine EU-weite Ausschreibung für einen AnimalPET-Scanner war erfolgreich und führte zur Beschaffung einer Grundvariante des ClearPET der Firma Raytest, Straubenhardt. Die Inbetriebnahme des Gerätes erfolgt im ersten Quartal 2007.

Aufgrund seiner technischen Spezifikationen ist dieses Gerät besonders geeignet für die unkonventionelle, nicht-biologische, Untersuchungsobjekte. Wie weit diese Minimalausstattung, die vom Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst finanziert wird, für die Durchführung der geplanten Messungen bereits ausreicht, muss nach Inbetriebnahme des Gerätes geprüft werden.

AP3: Probennahme und Anpassung der Injektionsmethodik: Durch den verspäteten Beginn der Bohrungen konnte noch keine Probenahme vorgenommen werden. Diese wird in enger Abstimmung mit der JGUM erfolgen, nachdem die Kerne geologisch erfasst und mittels CT untersucht wurden. Der Prototyp einer Messzelle wurde gebaut. Hierbei wird der Fragilität des Materials durch Einbettung der Probe Rechnung getragen. Die Beaufschlagung mit dem Tracer soll durch eine zentrale Bohrung im Kern erfolgen, so dass die Transportrichtung im Wesentlichen radial erfolgt, d. h. in horizontaler Richtung.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Trotz des verspäteten Kerngewinns und der voraussichtlich verspäteten Inbetriebnahme des PET-Scanners sollen die weiteren Arbeitspunkte planmäßig angegangen werden. Außer der Fortführung der Arbeiten aus AP1 bis AP3 sind im nachfolgenden Berichtszeitraum erste PET-Untersuchungen an Kernmaterial aus dem Deckgebirge (AP4) und der Lagerstätte (AP5), sowie Vorüberlegungen zur Auswertemethodik (AP7) geplant.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30655 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1546</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 9 (GGA-S1): Deckgebirgseigenschaften über einem bergbaubedingt destabilisiertem Untergrund, abgeleitet aus seismischen Beobachtungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 265.635,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Polom	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zielsetzung des TV9 ist die gebirgsmechanische Analyse und Bewertung des Tragverhaltens des Gebirges über und in den abgesoffenen und z. T. verbrochenen Grubenbauen sowie Ursachenforschung zur Hydrodynamik im oberflächennahen und tieferen Grundwasserstockwerk mit ihren vielfältigen Wechselwirkungen und Lösungsvorgängen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Erfassung der realen physikalischen Strukturierung der Formation und ihrer internen elasto-mechanischen Eigenschaften mittels eines 2D-seismischen Profilnetzes unter kombinierter Verwendung von P- und S-Raumwellen und Überführung in das geologische Modell. Einbindung dieses Profilnetzes in die punktuell vorliegenden Informationen aus Flach- und Tiefbohrungen (BTU Cottbus) zur schlüssigen Verknüpfung und Extrapolation in die Fläche. Anschließende Verschneidung mit anderen Flächen- bzw. Rauminformationen aus der Aero geophysik, Geoelektrik, Elektromagnetik und dem seismologischen Monitoring (alle BGR). Zur Teufenkalibrierung der seismischen Oberflächenmessungen und zur Verifizierung anderer bohrlochgeophysikalischer Daten (K-UTEK) werden zusätzlich vertikalseismische Profile (VSP) unter Verwendung einer digitalen 3K-Geophonsonde und vibrationsseismischer P- und S-Quellen in den Tiefbohrungen sowie in ausgewählten Flachbohrungen durchgeführt.



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

Mit Zugang des Zuwendungsbescheides wurden die mittlerweile beschaffungsuntauglichen Kostangebote für den notwendigen Geräteausbau erneut angefordert. Danach erfolgte die Einleitung der Beschaffungsvorgänge, die ursprünglich für den Berichtszeitraum geplanten Materiallieferungen sind erfolgt. Die Stellenausschreibung wurde eingeleitet und veröffentlicht, potentiell geeignete studentische Hilfskräfte (SHK) wurden durch Aushang im Umfeld der Universität Hannover angeworben. Die Stellenausschreibung endete am 18.12. mit dem Eingang von 11 Bewerbungen. 4 Bewerber wurden ausgewählt und zum 19.1.2007 zu Vorstellungsgesprächen eingeladen. Die Auswahl der SHK-Bewerber erfolgte zum 15.12.2006, die Ausfertigung von Arbeitsverträgen wurde eingeleitet. Der Arbeitsplan wurde an die um 6 Wochen verzögerte Mittelbereitstellung angepasst, der Antrag für eine angestrebte Mittelumwidmung zur weitgehenden Kompensation von Verzögerungen im Arbeitsplan wurde dem Haushalts- und Finanzcontrolling zugeleitet. Eine erste Vorerkundung der Gegebenheiten vor Ort wurde von zwei Mitarbeitern durchgeführt und Kontakte zu den lokal verantwortlichen Institutionen aufgenommen. Der Betriebshof der Stadt Stassfurt sicherte temporäre Unterstellmöglichkeiten für die Vibratorfahrzeuge des GGA-Instituts auf seinem Gelände zu, die konkrete Planung erster potentieller Profiltrassen im Stadtgebiet wurde aufgenommen. Eine erste bohrlochgeophysikalische Vermessung wurde für den 3.1.2007 mit dem Partner K-UTEC abgestimmt. Die weitere koordinierte Vorgehensweise wurde mit den Projektpartnern bei zwei Projekttreffen abgestimmt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die zeitnahe Planung konzentriert sich auf die Vorbereitung der ersten Messkampagne im Zeitraum Februar-März 2007 sowie auf den Ausbau, die Zusammenstellung und anschließende Prüfung der dabei einzusetzenden Gerätschaften. Mit fortschreitender Profilplanung sollen die unter seismischen Aspekten potentiell realisierbaren Trassenführungen mit den Bedürfnissen und Wünschen der Projektpartner abgestimmt werden. Die erste VSP-Vermessung in der im Stadtzentrum gelegenen Bohrung wird für Mitte bis Ende Januar 2007 mit Erreichen von ca. 125 m Tiefe erwartet. Der genaue Termin ist abhängig vom Bohrfortschritt, der Stabilität des Bohrlochs sowie von weiteren logistischen Abhängigkeiten des Bohrbetriebs. Zur Reduzierung von Mobilisierungszeiten bzw. Bohrstillstandszeiten sollen die Vibratorfahrzeuge des GGA-Instituts in der 2. Januarhälfte 2007 für zwei Wochen abrufbereit auf dem Gelände des Betriebshofes stationiert werden, damit das geplante Messprogramm möglichst schnell aufgenommen werden kann.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30655 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1556</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 10 (GGA-S3): Isotopenhydrologische Untersuchungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 253.554,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Frechen	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Teilvorhabens TV10 ist die isotopenhydrologische Charakterisierung der Grundwässer zum Nachweis von hydraulischen Verbindungen und dem Zu- und Abflussverhalten der Wasserreservoirs der gefluteten Salzbergwerke.

- Isotopenhydrologische Untersuchung der untertägigen Wässer sowie des Vorfluters im Bereich der Stadt Staßfurt
- Quantifizierung von Mischungen zwischen Wässern und Salzlösungen unterschiedlicher Herkunft
- Rekonstruktion lokaler Wasserfließsysteme
- Interpretation der hydrodynamischen Zusammenhänge als Ergebnis des multidisziplinären Gesamtkonzeptes der Arbeitsgruppe

Die Auswahl geeigneter Bohrungen, Pegel und Wasserbrunnen für die Beprobung im Untersuchungsgebiet findet in enger Abstimmung mit den Projektpartnern, insbesondere BTU Cottbus (TV1), K-UTEC (TV4) und IHU Stendal (TV5) statt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das TV10 umfasst folgendes Arbeitsprogramm:

- Pflege des Datenbestandes inkl. Datenrecherche und Erweiterung des Altdatenbestandes.
- Isotopenhydrologische Probennahme vor Ort aus den Tiefbohrungen und aus den Flachpegeln
- Isotopenhydrologische Messanalytik im Labor. Untersuchung der stabilen Isotope, Tritium, Tritium/<sup>3</sup>Helium, <sup>14</sup>C Datierung, FCKW und SF<sub>6</sub>.
- Dateninterpretation:
  - Bestimmung der Alterstruktur der salinaren Wässer und damit der Verweilzeiten und des Zu- und Abstroms.
  - Rekonstruktion der lokalen Wasserfließsysteme bzw. der hydrodynamischen Verhältnisse.
  - Beurteilung der Migration von Wasser und Lösungen, mit denen ein weiterer Lösungsangriff innerhalb der Flutungsräume verbunden sein kann
- Publikation der Ergebnisse auf Tagungen und in einschlägigen Fachzeitschriften.

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

Im Dezember erfolgte die Ausschreibung und Auswahl des wissenschaftlichen Projektmitarbeiters. Aufgrund bestehender Arbeitsverträge und daraus bedingten Kündigungsfristen kann eine Einstellung erst zum 1.4.2007 erfolgen.

Die Probennahme wurde technisch vorbereitet und die Messanalytik im Labor auf die zu erwartenden hohen Salzkonzentrationen eingerichtet. Eine spezielle Vakuum-Destillationsapparatur für die quantitative Destillation von hochsalinaren Isotopenproben wurde in Auftrag gegeben.

Im Rahmen der vom LAGB Sachsen-Anhalt durchgeführten Tiefbohrung wurden die ersten Wasserproben entnommen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weitere fortlaufende Probennahme in Abhängigkeit vom Bohrfortschritt der ersten Tiefbohrung. Beprobung der weiteren Tiefbohrungen abhängig vom Bohrbeginn.

Detailabstimmung mit der BTU Cottbus und IHU Stendal hinsichtlich eines Beprobungsplanes der vorhandenen und neu geplanten Flachbohrungen. Beginn der regelmäßigen Beprobung.

Aufbereitung bereits vorhandener Daten und einpflegen in die Server-Datenbank.

Messung der bereits genommen Proben im GGA-Labor (stabile Isotope und Radiocarbondatierung) sowie Vergabe von Analytikaufträgen (Tritium und FCKW/SF<sub>6</sub>).

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1566</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Grundlagenuntersuchungen zur Unterdrückung der Auflockerungszone in Strecken des Salinar		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2006 bis 31.03.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 31.970,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Langefeld	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist die Zusammenstellung und Bewertung der Möglichkeiten der Reduzierung oder Verhinderung der Entstehung einer Auflockerungszone infolge von Streckenauffahrung im Salinar. Es soll eine umfangreiche Literaturstudie durchgeführt werden, die den Stand der Technik der schonenden Streckenauffahrung darstellt und die verwendeten Verfahren zur Bestimmung der Auflockerungszone und deren Reichweite ins Gebirge charakterisiert. Parallel soll Kontakt zu anderen Forschungsstellen bzw. Industriefirmen aufgenommen und deren Erfahrungen und Kenntnisse entsprechend verarbeitet werden. Im Anschluss soll eine Bewertung der Übertragbarkeit und Nutzungsmöglichkeit dieser Ergebnisse auf den Bereich der Forschung zum Thema Verschlussbauwerke für Endlager im Salinar vorgenommen werden.

In den bestehenden Konzeptionen zur Erstellung von Verschlussbauwerken für atomare Endlager sind die Umläufigkeiten um das Bauwerk durch das anstehende Wirtsgestein als problematisch anzusehen. Dieses Vorhaben soll einen Beitrag zu den Möglichkeiten der Eindämmung oder Verhinderung einer Auflockerungszone liefern.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Literaturrecherche zu aktuellen Verfahren zur Erkundung und Charakterisierung der Auflockerungszone im Salinar
2. Zusammenstellung verschiedener Verfahren zur Eindämmung und Verhinderung der Auflockerungszone
3. Bewertung der Übertragungsmöglichkeiten auf die Randbedingungen für ein Endlager oder eine Deponie im Salinar

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

Im Berichtszeitraum wurden Arbeiten des Arbeitspakets 1 durchgeführt, d. h. es wurden Informationen aus dem Bereich der aktuell beforschten Verfahren zur Charakterisierung und Untersuchung der Auflockerungszone im Salinar gesammelt. Des Weiteren galt es einen Überblick über die Prozesse und Vorgänge in den stossnahen Bereichen um anthropogen hergestellte Hohlräume im Gebirge zu gewinnen. Eine interessante Fragestellung war hierbei unter anderem in welchen Zeiträumen nach der Auffahrung sich die Auflockerungszonen ausbilden bzw. welche zeitlichen Abhängigkeiten generell zu beachten sind.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im kommenden Berichtszeitraum soll die Datenrecherche weitergeführt werden und auf theoretischer Grundlage Überlegungen angestellt werden, welche der im gewerblichen Bergbau praktizierten Bemühungen zur Vermeidung bzw. Eindämmung der Auflockerungszone, auf die Anforderungen in einem Endlager oder einer Deponie im Salinar übertragbar sind. Dies schließt eine Zusammenstellung der möglichen Materialien ein, die zur Verwendung von Ausbaumaßnahmen in einem Endlager oder einer Deponie im Salinar verwendet werden können. Insbesondere soll hierbei geklärt werden, ob dieser Ausbau zur Verhinderung der Auflockerungszone sinnvoll in spätere Verschlussbauwerke integriert werden kann. Der greifbare Vorteil dieser Vorgehensweise würde in der Tatsache zum Ausdruck kommen, dass die Vorkhaltung einer separaten Schneidemaschine für einen notwendigen Nachschnitt der Kontur entfallen würde.

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

Keine



### **2.3 W-Vorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 W 6243</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2003 bis 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 819.798,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Stein	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben baut auf den Ergebnissen der Vorhaben 02W6184 und 02W6218 auf und zielt ab auf Lösungsvorschläge zur Implementierung des Zusatzprotokolls, Entwicklung von anlagen- und brennstoffkreislaufspezifischen Kontrollmethoden sowie Weiterentwicklung von Safeguardstechniken und -methoden im Rahmen der Proliferationsresistenz.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Programmpunkte und Arbeitspakete sind:

- die Entwicklung von Prozeduren für die Durchführung von Complementary Access, Managed Access sowie Unannounced Inspections,
- die Erarbeitung qualitativer Kriterien zur Inspektionsplanung von IAEO und Euratom und zur Bewertung der Inspektionsergebnisse,
- die Erarbeitung von Vorschlägen zu zukünftigen Betreiberpflichten,
- die Zusammenarbeit mit ESARDA,
- die Entwicklung von Komponenten für Unattended Remote Monitoring and Measurement Systems,
- die Entwicklung von Methoden der Fernerkundung,
- die Bearbeitung von Fragen zur nuklearen Abrüstung,
- die Entwicklung von zerstörungsfreien Methoden zur Verifizierung abgebrannter Brennelemente in kraftwerksstandortnahen Zwischenlagern,
- die Erarbeitung von Kriterien zur Beendigung der Kontrollen,
- die Untersuchung und Bewertung geophysikalischer Methoden für die Überwachung der geologischen Endlagerung abgebrannter Brennelemente,
- die Definition von Kriterien zur Proliferationsresistenz und
- die Analyse von technischen, institutionellen und politischen Ansätzen zur Stärkung der Nichtverbreitung.

Die Arbeiten erfolgen im internationalen Kontext nach vorgegebenen Zeitplänen von BMWi, Euratom und IAEO, parallel laufend und unter Einbeziehung in internationale Diskussionen. Sie zielen auf die Bereitstellung von Arbeitspapieren, Techniken und Veröffentlichungen, den Bau von Geräten und die Übernahme der Ergebnisse durch BMWi, Euratom und IAEO.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Fernerkundung: Weiterentwicklung des Merkmalsanalysetools SeaTH für die objektbasierte Bildanalyse und Einsatz bei der objektbasierten Änderungsdetektion am Beispiel des iranischen Standorts Natanz; Erweiterung der Methodik um invariante Momente und neuronales Netzwerk; Verbesserung von automatischen radiometrischen Normierungsverfahren durch iterative Algorithmen; Ergebnisse eingereicht bei IEEE Transactions on Image Processing.



- Geologische Endlagerung: Teilnahme am Expertentreffen bei der IAEO; Erarbeitung von Definitionen für „Repository Site“ und „Repository Facility“.
- Standortlager: Aufstellung eines Safeguards-Konzepts für den Transfer von abgebrannten Brennelementen und eine 40-jährige Standortlagerung; Vortrag beim IAEO-Symposium.
- ESARDA: Sitzungsleitung der Working Group on Containment and Surveillance, Verfolgung von Performance Assessment, Wireless In-plant Data Transmission, Proliferation Resistance, Vortrag beim IAEO-Symposium; Teilnahme an den Sitzungen von Executive Board und Editorial Committee; Beginn der Ausarbeitung eines Textbuches über Containment and Surveillance für die Nachwuchsförderung.
- Zusatzprotokoll: Unterstützung von BMWi und Betreibern bei ihren Deklarationspflichten, Beratung über Datenfernabfrage aus Nuklearanlagen.
- Managed Access: Abschluss eines Guidelines-Entwurfes; Beratung des BMWi.
- Unattended Systems: Bearbeitung der Aktionen der Projektsitzung vom Februar zur Entwicklung des Digital Unattended Multi-channel Analyser (DIUM); Vortrag beim IAEO-Symposium über das Hardware Design-Konzept des Next Generation Surveillance System (NGSS).

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fernerkundung: Validierung der Methodenerweiterung anhand iranischer und deutscher Anlagen; Validierung von Anlagendeklarationen anhand von Luftbildern ausgewählter deutscher Anlagen; Kooperation mit der Universität di Roma „La Sapienza“ zum Thema Comparison of Change Detection Methodologies for Monitoring Population Movement.
- Geologische Endlagerung: Mitarbeit in der Expertengruppe bei der IAEO.
- Standortlager: Unterstützung von BMWi und Betreiber bei der Safeguards-Implementierung.
- ESARDA: Leitung der Working Group on Containment and Surveillance, Aufstellung und Durchführung eines Arbeitsprogramms; Weiterführung der Arbeiten zu Performance Assessment; Ausarbeitung eines Textbuches über Containment and Surveillance für die Nachwuchsförderung.
- Zusatzprotokoll: Unterstützung von BMWi und Betreibern bei ihren Deklarationspflichten, Beratung bei der Implementierung von Datenfernabfrage aus Nuklearanlagen.
- Managed Access: Beratung des BMWi.
- Unattended Systems: Tests von DIUM, Implementierung von Authentifizierung und Verschlüsselung bei DIUM.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

S. NUSSBAUM, I. NIEMEYER, M.J. CANTY; „Automated Object-oriented Analysis of High Resolution Remote Sensing Data in the Context of NPT Verification Exemplified for Iranian Nuclear Sites“, Proc. 47<sup>th</sup> INMM Annual Meeting, Nashville, 16.-20.07.2006, erschienen auf CD-ROM.

S. NUSSBAUM; Dissertation

M.J. CANTY, A.A. NIELSEN; „Vizualisation and unsupervised classification of changes in multispectral satellite imagery“, International Journal of Remote Sensing 27 (18) 2006, 3961-3975.

S. Nussbaum, I. Niemeyer, M.J. Canty; „Targeted Information Collection for Nuclear Verification: A Combination of Object-Oriented Images Analysis and Pixel-Based Change Detection with Very High Resolution Satellite Data exemplified for Iranian Nuclear Sites, Proc. SPIE Europe Remote Sensing 2006, 11.-14.09.2006, Stockholm, SPIE Vol. 6365-13.

S. Nussbaum, I. Niemeyer, M.J. Canty; „SEaTH - A new tool for automated feature extraction in the context of object-oriented image analysis. Proc. AGIT - Obia, Salzburg, 4.-5.07.2006, ISPRS; Volume No. XXXVI – 4/C42; ISSN 1682-1777.

A. REZNICZEK, B. RICHTER, G. STEIN, M. STEIN: „Complementary Access – Experience and Perspectives“, Proc. 47<sup>th</sup> INMM Annual Meeting, Nashville, 16.-20.07.2006, erschienen auf CD-ROM.



## **2.4 BMWi-Hausvorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>KWA 2003</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2003 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2006 bis 31.12.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.392.760,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Hemberle	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens ist die Koordinierung der Mitarbeit deutscher Wissenschaftler an den internationalen Forschungsprogrammen zu den alternativen Wirtsgesteinen Granit und Ton. Diese Mitarbeit dient in erster Linie der weiteren Vertiefung der Kenntnisse über die Mobilität und Ausbreitung von Radionukliden in der Umgebung eines Endlagers und der Verbesserung der Instrumentarien für die Charakterisierung des Endlager-Wirtsgesteins und für die Durchführung von Endlager-Sicherheitsanalysen. Zur Erreichung dieser Aufgabenstellung werden In-situ-Untersuchungen in den Untertagelabors, Laborversuche an den Standorten der beteiligten Institutionen und Modellentwicklungen und -rechnungen durchgeführt. Ein weiteres wesentliches Ziel ist die Mitarbeit in internationalen Arbeitsgruppen, die den Erfahrungsaustausch und die Kenntniserweiterung auch auf den an die o. g. Ziele angrenzenden Gebieten ermöglicht.

Die Arbeiten sind in die wissenschaftlichen Programme mit internationaler Beteiligung eingebunden, die in den Untertagelabors (URL) Felslabor Grimsel (CH), HRL Äspö (S), Mt. Terri (CH) und Bure (F) durchgeführt werden.

Die von BMWi geförderten Vorhaben werden von DBE Technology, FZR und GRS durchgeführt. Sie werden ausführlicher in den formalisierten Zwischenberichten in Kapitel 2.1 beschrieben. Die BGR und das FZK/INE beteiligen sich mit Projekten, die durch Haushaltsmittel bzw. Institutsmittel finanziert werden, an den Untersuchungen in den URL.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

**FuE-Arbeiten zu Hartgesteinen/Granit im FL Grimsel und im HRL Äspö**  
(Vorhaben 02E9390, 02E9743, 02E9945, 02E9985, 02E10106, FZK/INE, BGR)

**FuE-Arbeiten zu Ton und Tonstein in den URL Mt. Terri und Bure**  
(Vorhaben 02E9531, 02E9773, 02E9834, 02E9894, 02E9914, 02E10045, 02E10116, 02E10226, FZK/INE, BGR)

Schwerpunkt der Arbeiten sind In-situ- und Labor-Untersuchungen sowie Entwicklung numerischer Modelle, sowie Untersuchungen zu Migration, Transport und Rückhaltung von kolloidalen und gelösten Radionuklidspezies in den technischen und natürlichen Barrieren. Für die Bestimmung der Feuchtigkeitsausbreitung und die Charakterisierung des Gebirges in der Umgebung untertägiger Hohlräume werden experimentelle Methoden weiterentwickelt und erprobt.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Vorhaben sind eingebunden in internationale Projekte und werden zum Teil von der EC im Rahmen des FP6 kofinanziert. Innerhalb der Vorhaben wurden Arbeiten mit Bezug zu folgenden Projekten ausgeführt:

#### **Hartgestein/Granit**

FL Grimsel (GMT und NF-PRO (FEBEX)); HRL Äspö (Prototype Repository, Task Force EBS, Temperature Buffer Test, Colloid, Microbe, LASGIT)

- Weiterentwicklung der Methoden zur Messung des Aufsättigungsverhaltens des technischen Barriere-Systems, des Porenwasserdrucks und der Temperaturen im Endlager-Nahbereich mit Hilfe geoelektrischer und faseroptischer Sensoren sowie quantitative Bestimmung der jeweiligen Parameter
- In-situ- und Labor-Untersuchungen zum Transport und zur Ausbreitung von Aktiniden im Gebirge, auch unter dem Einfluss von Kolloiden und Mikroben
- Numerische Modellierung und Laboruntersuchungen zum Aufsättigungsverhalten des Versatzmaterials

#### **Tonstein**

Bure (Teilnahme am Versuchsprogramm der ANDRA), Mont Terri (Heater Experiment, Ventilation-Test, SB-Experiment)

- Ermittlung relevanter, zur Beschreibung des Materialverhaltens erforderlicher Gesteinsparameter
- Entwicklung von Modellen zur Simulation von gekoppelten THM-Prozessen
- Weiterentwicklung der Methoden zur Messung der thermischen und hydraulischen Effekte auf das Wirtsgestein

Die Ergebnisse sind in den jeweiligen Vorhaben dokumentiert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die in den Vorhaben vorgesehenen Untersuchungen sind aus den Berichten in Kapitel 2.1 zu ersehen.








### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Siehe Berichte zu den einzelnen Vorhaben in Kapitel 2.1.





### 3 Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen


- |   |  |
|---|--|
| <b>Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fahrenbergplatz, 79098 Freiburg</b>                     |  |
| 02 E 10306  | Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme $d^3f$ und $r^3t$ - Entwicklung effizienter Diskretisierungsverfahren für die zu entwickelnden numerischen Verfahren zur Datenanalyse <span style="float: right;">📖 142</span>  |
| <b>Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99423 Weimar</b>                    |  |
| 02 C 1104   | Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme <span style="float: right;">📖 184</span>  |
| 02 C 1224   | Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar - Experimentelle Untersuchungen zur Struktur, dem Abbindeverhalten, der Kompressibilität und den volumetrischen Eigenschaften <span style="float: right;">📖 208</span>                 |
| <b>Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal</b>                          |  |
| 02 C 1084   | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems <span style="float: right;">📖 180</span>  |
| <b>Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Konrad-Wachsmann-Allee 1, 03046 Cottbus</b> |  |
| 02 C 1466   | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 1 (BTU): Hydrologie und Geochemie des Gesamtsystems <span style="float: right;">📖 250</span>   |
| <b>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover</b>     |  |
| 02 C 1014   | Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 2 <span style="float: right;">📖 166</span>   |
| 02 C 1074   | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten <span style="float: right;">📖 178</span>  |
| 02 C 1476   | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 2 (BGR): Geophysikalische Untersuchungen, Seismische Erkundung, Geologisches 3D-Modell, Bohrungen, Server-Datenbank, Koordination des Gesamtvorhabens <span style="float: right;">📖 252</span> |
| <b>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine</b>  |  |
| 02 E 9531   | Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen <span style="float: right;">📖 20</span>  |
| 02 E 9733   | Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein <span style="float: right;">📖 32</span>  |

- 02 E 9743** Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö  34
- 02 E 9854** Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1)  56
- 02 E 9965** Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA  76
- 02 E 10065** Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW - Kurztitel: ISIBEL  94
- 02 E 10086** Untersuchungen zur Auswirkung einer Temperaturerhöhung in Tonformationen in Deutschland im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit eines Endlagers und irreversible Veränderungen der potenziellen Wirtsformation -TemTon-  98
- 02 E 10246** Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)  130
- 02 E 10286** Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tongestein (ERATO)  138



<b>DMT GmbH, Am Technologiepark 1, 45307 Essen</b>
--

- 02 C 1094** Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung und Bua der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassung  182
- 02 C 1154** Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)  194

<b>Dr. Andreas Hampel, Am Fasanenweg 4, 55270 Essenheim</b>
---

- 02 C 1004** Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 1  164

<b>Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstraße 7, 72074 Tübingen</b>
---

- 02 C 1114** Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme  186
- 02 C 1295** Kopplung Numerischer Modelle für C:HM - Transportprozesse, Teilprojekt Uni Tübingen: Validierung Numerischer Modelle für geochemische Prozesse in geotechnischen Dichteelementen  222



<b>EnviCon Dr. Veerhoff &amp; Scherschel GbR, Staffelgasse 15, 53347 Alfter</b>
---

- |           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 02 C 1174 | Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-EnviCon) | 198 |
|-----------|---|-----|

<b>Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich</b>
---

- |           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 02 E 9803 | Untersuchungen zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager | 46  |
| 02 W 6243 | Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen                                      | 274 |

<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe</b>
--

- |            |   |     |
|------------|---|-----|
| 02 C 1054  | Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 6         | 174 |
| 02 E 10096 | Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado  | 100 |
| 02 E 10126 | Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZ Karlsruhe   | 106 |
| 02 E 10206 | Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Einfluss von tonorganischen Substanzen auf die Rückhaltung von Actiniden in der Tonbarriere | 122 |
| KWA 2003   | Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine  | 278 |

<b>Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V. (FZR), Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden</b>
---

- |            |   |     |
|------------|---|-----|
| 02 C 1144  | Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-FZR) | 192 |
| 02 C 1436  | Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZR  | 244 |
| 02 E 9985  | Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall  | 80  |
| 02 E 10136 | Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZR  | 108 |
| 02 E 10156 | Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton                   | 112 |

<b>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastraße 27c, 80686 München</b>
---

- |           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 02 C 1184 | Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar                            | 200 |
| 02 C 1325 | Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Sonarverfahren | 228 |

<b>Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena</b>
---


- |            |  |     |
|------------|--|-----|
| 02 E 10316 | Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d <sup>3</sup> f und r <sup>3</sup> t - Skalierung von halinen und thermohalinen Strömungen | 144 |
|------------|--|-----|

<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mit beschränkter Haftung, Schwertnergasse 1, 50667 Köln</b>
--


- |           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 02 C 0973 | Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen  | 158 |
| 02 C 0983 | Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen  | 160 |
| 02 C 0993 | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C und 90° C  | 162 |
| 02 C 1164 | Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)                     | 196 |
| 02 C 1244 | Prognose der Redoxeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen  | 212 |
| 02 C 1254 | Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD  | 214 |
| 02 C 1285 | Kopplung Numerischer Modelle für C:HM - Transportprozesse, Teilprojekt GRS  | 220 |
| 02 C 1426 | Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS  | 242 |
| 02 E 9390 | Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt „Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock – Phase II“ FEBEX II | 18  |
| 02 E 9723 | Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen   | 30  |
| 02 E 9773 | Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor  | 40  |
| 02 E 9783 | Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  | 42  |
| 02 E 9813 | Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen   | 48  |
| 02 E 9824 | Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)  | 50  |
| 02 E 9834 | Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT  | 52  |
| 02 E 9844 | NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment   | 54  |
| 02 E 9884 | Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen   | 60  |

- 02 E 9894 Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt 62
- 02 E 9914 Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ 66
- 02 E 9934 Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST) 70
- 02 E 9944 Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2 72
- 02 E 9954 Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager 74
- 02 E 9975 Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA 78
- 02 E 9995 Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5 82
- 02 E 10045 Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure 90
- 02 E 10055 Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL 92
- 02 E 10075 Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lösungen bei Temperaturen bis 90° C – Kurztitel: FeT90 96
- 02 E 10106 Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado 102
- 02 E 10116 Barriereintegrität des einschlusswirksamen Deckgebirges in Tonformationen (BET) 104
- 02 E 10146 Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS 110
- 02 E 10226 Gasmigration im Opalinus Ton in Abhängigkeit vom Gasinjektionsdruck (unterhalb des Fracdruckles) Kurztitel: HG-C 126
- 02 E 10236 Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU) 128
- 02 E 10276 Weiterentwicklung sicherheitsanalytischer Methoden zur Vorbereitung eines Safety Case in Deutschland -WESAM- 136
- 02 E 10336 Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme  $d^3f$  und  $r^3t$  148
- Gottfried Wilhelm Leibnitz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover**
- 02 C 1044 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5 172









- 02 E 10025 Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung  86


**GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG, Straße der Einheit 9, 06179 Teutschenthal**

- 02 C 1204 Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit); Teil 2: Erprobung von Funktionselementen in situ  204




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

- 02 C 1024 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 3  168
- 02 C 1234 Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar - Untersuchungen der mechanischen Anforderungen und Eigenschaften  210
- 02 C 1264 Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salinarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss  216
- 02 E 9874 Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation  58
- 02 E 9904 Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein  64
- 02 E 10256 Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)  132







**IHU Geologie und Analytik Gesellschaft für Ingenieur- Hydro- und Umwelttechnologie mbH, Dr.-Kurt-Schumacher-Str. 23, 39576 Stendal**

- 02 C 1506 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 5 (IHU): Erfassung, Bewertung und Darstellung der Strukturgeologie und Hydrochemie  258


**Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30655 Hannover**

- 02 C 1315 Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen  226
- 02 C 1546 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 9 (GGA-S1): Deckgebirgseigenschaften über einem bergbaubedingt destabilisiertem Untergrund, abgeleitet aus seismischen Beobachtungen  266
- 02 C 1556 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 10 (GGA-S3): Isotopenhydrologische Untersuchungen  268




**Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig,  
Permoserstr. 15, 04318 Leipzig**

- 02 C 0932 Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)  154
- 02 C 1456 Bestimmung der Änderung des räumlichen und zeitlichen Ausbreitungsverhaltens von chemotoxischen Schwermetallen nach Wechselwirkung mit Natural Organic Matter (NOM) in geologischen Formationen von Untertagedeponien  248
- 02 C 1536 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 8 (IIF): Tomographische Radiotraceruntersuchungen und Fluoreszenztraceruntersuchungen  264
- 02 E 9663 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Entwicklung und Einsatz von Radiotracern für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen  24
- 02 E 9753 Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracerverfahren  36
- 02 E 10176 Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Beiträge zur Modellierung des Actinidentransports in potentiellen Wirtsgesteinsformationen; Teilthema 1: Mobilitätsbestimmende Elementarprozess; Teilthema 2: Einfluss heterogener Strukturen auf den Lösungs-Kolloidtransport  116



**Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Forschungsgelände,  
85748 Garching**


- 02 E 10266 Numerische Modellierung der Dilatanz-induzierten, perkolutiven Permeation in Salzgestein  134

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

- 02 C 1526 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 7 (JoGU): Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität  262
- 02 E 9653 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit  22
- 02 E 10166 Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit natürlichem Tongestein  114

**Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut, Am Petersenschacht 7,  
99706 Sondershausen**

- 02 C 1214 Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar  206
- 02 C 1395 Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 1  236


- 02 C 1496 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 4 (K-UTEC): Grundlagen für Geomodellierung  256

**Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99423 Weimar**


- 02 C 1064 Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken  176

**Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Merzhauser Straße 173, 79100 Freiburg**


- 02 E 9793 Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  44


- 02 E 1345 Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle  232

**Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Regina-Pacis-Weg 3, 53113 Bonn**


- 02 E 10296 Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme  $d^3f$  und  $r^3t$  - Visualisierung und Datenanalyse  140


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

- 02 E 9703 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen  28


- 02 E 10326 Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme  $d^3f$  und  $r^3t$  - Modellierung des Wärmetransports und Modellierung freier Oberflächen  146


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


- 02 C 1124 Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke  188


- 02 C 1446 Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben TU BAF  246






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

- 02 C 0952 Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge  156


- 02 C 1034 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4  170

- 02 C 1134 Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern  190


- 02 C 1275 Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse, Teilprojekt TUC: Gekoppelte Modellierung des C:HM Verhaltens von selbstverheilendem Salzversatz  218

- 02 C 1355** Weiterentwicklung der EDV-Software INFIL zur Simulation des druckbetriebenen Infiltrationsprozesses von Fluiden in ein nicht permeables Barrieren-Gebirge (Salinar)  234
- 02 C 1405** Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 2  238
- 02 C 1415** Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 3  240
- 02 C 1486** Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 3 (TUC): Geomechanische Modellierung  254
- 02 C 1566** Grundlagenuntersuchungen zur Unterdrückung der Auflockerungszone in Strecken des Salinar  270




**Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt**

- 02 E 10015** Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein  84



**Technische Universität Ilmenau, Ehrenbergstraße 29, 98693 Ilmenau**

- 02 C 1194** Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchstfrequenz-Radar  202


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

- 02 E 9763** Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  38
- 02 E 10035** Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden  88
- 02 E 10186** Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Quantenmechanische Modellierung von Aktinoidenkomplexen: Komplexierung durch Huminstoffe und Sorption an Tonmineralien  118

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


- 02 E 9683** Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit  26
- 02 E 10196** Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Untersuchungen zur Migration von Lanthaniden und Uran in natürlichen Tonformationen im Übergang von verdünnten Mineral-Suspensionen zu kompakten Tonen  120

**Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe**



- 02 C 0922** Verschlussystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität  152




<b>Universität Leipzig, Ritterstraße 26, 04109 Leipzig</b>
--

- 02 C 1305** Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung  224

<b>Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam</b>
---

- 02 E 9924** Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Humin-Metall-Komplexierung  68
- 02 E 10216** Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Spektroskopische Untersuchungen zum erweiterten Prozessverständnis in binären und ternären Huminstoff-Tongestein - Lanthanoid Systemen: Thermodynamische und kinetische Kenngrößen  124

<b>WASY Gesellschaft für Wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH, Waltersdorfer Str. 105, 12526 Berlin</b>
--

- 02 C 1516** Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 6 (WASY): Strömungs- und Transportmodellierung  260