

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

## **PTE Nr. 31**

Bericht über die im ersten 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**  
August 2006

## **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
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 „Altlasten in Bergschadensgebieten“,
- 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>11</i>
<b>2</b>	<b>Formalisierte Zwischenberichte .....</b>	<b>13</b>
2.1	E-VORHABEN .....	13
2.2	C-VORHABEN .....	109
2.3	W-VORHABEN .....	205
2.4	BMW-HAUSVORHABEN .....	209
<b>3</b>	<b>Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....</b>	<b>213</b>



# 1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen

## 1.1 Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten

<b>02 C 0963</b>	Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 118
<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>	📖 120
<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>	📖 122
<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>	📖 124
<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>	📖 138
<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>	📖 140
<b>02 C 1084</b>	Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems	<b>Bergische Universität Wuppertal</b>	📖 142
<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>Deutsche Montan Technologie GmbH, Essen</b>	📖 144
<b>02 C 1104</b>	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme	<b>Bauhaus-Universität Weimar</b>	📖 146
<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>	📖 148

- |                  |  |  |       |
|------------------|--|--|-------|
| <b>02 C 1124</b> | Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke  | <b>TU Bergakademie Freiberg</b>  | 📖 150 |
| <b>02 C 1134</b> | Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern  | <b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>  | 📖 152 |
| <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>     | 📖 162 |
| <b>02 C 1194</b> | Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchstfrequenz-Radar  | <b>TU Ilmenau</b>  | 📖 164 |
| <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>                              | 📖 166 |
| <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>  | 📖 168 |
| <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>  | 📖 170 |
| <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>                                    | 📖 172 |
| <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>   | 📖 186 |
| <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>           | 📖 188 |
| <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> | 📖 190 |

<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>	📖 192
<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>	📖 198
<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>	📖 200
<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>	📖 202
<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>	📖 60
<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>	📖 80
<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>	📖 82
<b>02 E 9985</b>	Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall	<b>Forschungszentrum Rossendorf e.V., Dresden</b>	📖 84
<b>02 E 10025</b>	Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung	<b>Universität Hannover</b>	📖 92
<b>02 E 10035</b>	Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorganohuminkolloiden	<b>TU München</b>	📖 94
<b>02 E 10045</b>	Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 96
<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>	📖 102
<b>KWA 2003</b>	Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 210



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

<b>02 C 0720</b>	Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 110
<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>	📖 112
<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>	📖 114
<b>02 C 0952</b>	Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 116
<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>	📖 126
<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>	📖 128
<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>	📖 130
<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>	📖 132
<b>02 C 1044</b>	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5	<b>Universität Hannover</b>	📖 134
<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>	📖 136

02 C 1144	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-FZR)	<b>Forschungszentrum Rossendorf e.V., Dresden</b>	📖 154
02 C 1154	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)	<b>Deutsche Montan Technologie GmbH, Essen</b>	📖 156
02 C 1164	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>	📖 158
02 C 1174	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>	📖 160
02 C 1244	Prognose der Redoxeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 174
02 C 1254	Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Depositionsfeld einer UTD	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 176
02 C 1264	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>	📖 178
02 C 1275	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>	📖 180
02 C 1285	Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt GRS: Laborversuche und Geochemische Modellierung	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 182
02 C 1295	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>	📖 184
02 C 1345	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>	📖 194

<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>	📖 196
<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>	📖 14
<b>02 E 9521</b>	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 16
<b>02 E 9531</b>	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 18
<b>02 E 9632</b>	Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</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 9673</b>	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen	<b>FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden</b>	📖 26
<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>	📖 28
<b>02 E 9693</b>	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe	<b>TU München</b>	📖 30
<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>	📖 32

02 E 9723	Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 34
02 E 9733	Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein	DBE Technology GmbH, Peine	📖 36
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	DBE Technology GmbH, Peine	📖 38
02 E 9753	Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radotracer	IIF e.V., Leipzig	📖 40
02 E 9763	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden	TU München	📖 42
02 E 9773	Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 44
02 E 9783	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 46
02 E 9793	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	Öko-Institut e.V., Freiburg	📖 48
02 E 9803	Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationen möglicher Endlager	FZ-Jülich	📖 50
02 E 9813	Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 52
02 E 9824	Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 54
02 E 9834	Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 56
02 E 9844	NF-PRO5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 58
02 E 9874	Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 62

02 E 9884	Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	64
02 E 9894	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	66
02 E 9904	Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	68
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	70
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	72
02 E 9934	Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	74
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	76
02 E 9954	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	78
02 E 9984	Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	84
02 E 9995	Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	86
02 E 10005	Auswertung von Modellierungsansätzen zum Gas-transport in Tongesteinen (GASTON)	Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Garching	88
02 E 10015	Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein	Technische Universität Darmstadt	90
02 E 10055	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	98

<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>	📖 100
<b>02 E 10096</b>	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kollorado	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 104
<b>02 E 10106</b>	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kollorado	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 106

### 1.3 Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung

**02 W 6243** Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen **Forschungszentrum Jülich GmbH**  206



## **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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Komponenten Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe und Kohlendioxid. Offensichtlich verringern sich die Gesamtdurchlässigkeit des Versuchsfeldes und damit auch der Gasaustausch mit dem offenen Stollensystem.

Die im Dezember 2005 durchgeführten Injektionstests zur Ermittlung der Gaspermeabilität wurden ausgewertet. Die effektiven Gaspermeabilitäten liegen ebenso wie bei der ein Jahr zuvor durchgeführten Messung zumeist bei  $10^{-18}$  bis  $10^{-17}$  m<sup>2</sup>; allerdings ist bei einzelnen Messstellen eine Verringerung der Permeabilität festzustellen, was auf eine allmähliche Auf-sättigung des Bentonits hindeutet.

### **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 9521</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)		
<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> 01.08.2001 bis 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 355.414,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr.-Ing. Müller-Hoeppe	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens ist es, analog zu dem FuE-Vorhaben „Ein neuer Ansatz zur Bewertung der Wirksamkeit von Barrieren im Endlager“, in dem auf konzeptionelle Basis das nachweisbare Sicherheitsniveau eines Endlagers im Salz ermittelt wurde, das nachweisbare Sicherheitsniveau eines Endlagers in den Wirtsgesteinen Granit und Ton im Rahmen vorliegender Endlagerkonzepte konzeptionell zu bestimmen. Dabei ist sowohl die ungestörte als auch die gestörte Entwicklung des Endlagers zu betrachten und im Sinne der IAEA-Empfehlung sowohl ein Dosisgrenzwert für die ungestörte Entwicklung des Endlagers anzusetzen als auch ein Risikogrenzwert für die gestörte Entwicklung.

Um einen objektiven, einheitlichen Sicherheitsmaßstab zu erhalten, wie er im System der Eurocodes als Ziel verankert ist und auch den Richtlinien für Bauten des Umweltschutzes zur Beherrschung wassergefährdender Stoffe zu Grunde liegt, ist geplant, eine nachweisbare obere Schranke für das hypothetische Gesamtrisiko zu ermitteln. Dieser Wert stellt einen einheitlichen Sicherheitsmaßstab dar und lässt sich sowohl mit von konventionellen, technischen Anlagen ausgehenden hypothetischen Risiken als auch mit realen Lebensrisiken von Menschen vergleichen. Der Vergleich soll im Rahmen des Vorhabens durchgeführt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenstellung von Informationen zu Endlagern und Verschlusskonzepten in Granit und Ton und Identifikation der Wirkungsweise der Barrieren
- AP2: Entwicklung von Sicherheitsnachweiskonzepten für Endlagerkonzepte in Granit und Ton und Darstellung der Endlagersystementwicklung
- AP3: Quantifizierung des Sicherheitsniveaus von Einzelbarrieren (Permeationsbarrieren)
- AP4: Quantitative Bestimmung des Sicherheitsniveaus in Konzepttiefe und Gegenüberstellung von Schranken für Risikowerte
- AP5: Zusammenstellung aller Ergebnisse, Dokumentation und zusammenfassende Bewertung

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

AP1: Die Arbeiten wurden abgeschlossen.

AP2: Keine.

AP3: Auf Basis verfügbarer und geeigneter methodischer Ansätze wurden erreichbare Sicherheitsniveaus für einzelne Barrieren für Endlagerkonzepte in Ton und Granit abgeschätzt. Dabei zeigte sich, dass die Daten im Hinblick auf die Führung technischer Einzelnachweise noch nicht hinreichend abgesichert sind.

AP4: Die quantitative Bestimmung des Sicherheitsniveaus in Konzepttiefe wurde begonnen. Dabei wurde unterstellt, dass die verwendeten Daten repräsentativ sind. Daraus wurden untere Schranken für Risikowerte abgeschätzt.

AP5: Die Zusammenstellung aller Ergebnisse und zusammenfassende Bewertung im Rahmen der Erstellung des Abschlussberichtes wurde weiter geführt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP5: Fertigstellung des Abschlussberichtes.

### **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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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, an dem sich die DBE TECHNOLOGY gemäß der Vereinbarung mit ANDRA beteiligt hat. Nach Beendigung des Versuches im Dezember letzten Jahres wurden im Berichtszeitraum zwei neue Bohrungen von der MI-Nische senkrecht zu den Erhitzern erstellt. Ziel war es, Nachuntersuchungen an Kernmaterial und eventuell entstandene Rissbildung im Gebirge zu detektieren. Seitens DBE TECHNOLOGY wurden aus einer der neuen Bohrungen mehrere Kernproben hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit als Funktion des Wassergehaltes zu vermessen. Die Proben wurden direkt nach dem Bohren in Kunstharz eingegossen anstelle sie, wie in der ersten Messkampagne, lediglich in Folie einzupacken. Der natürliche Wassergehalt konnte mit diesem Verfahren bis zur Vermessung im Labor nachweislich erhalten werden. Die begleitenden numerischen Modellierungen wurden abgeschlossen. Hinsichtlich des thermischen Gesteinsverhaltens konnte ein konsistentes Bild aus Labormessungen, in situ Temperaturmessungen und numerischer Simulation erzeugt werden. Bezüglich des mechanischen Verhaltens verbleiben noch Unklarheiten, da das in situ gemessene Gesteinsverhalten nicht gänzlich mit dem simulierten Verhalten zur Deckung gebracht werden konnte. Es wird vermutet, dass Auffahrungen in der weiteren Umgebung des Erhitzerversuches während dessen Verlauf das mechanische Gesteinsverhalten beeinflusst haben. Dies wurde aber wegen des erforderlichen Aufwandes nicht durch entsprechende Berechnungen überprüft.

Im Untertagelabor in Bure wurde im letzten Jahr im Rahmen des Schachtabteuf-Experimentes (REP-Versuch) die Gebirgsantwort auf den Abteufprozess durchgeführt. Der Versuch wurde beendet und die Systeme zur Deformationsmessung abgeschaltet bzw. ausgebaut. Der Versuch wurde durch numerische Simulationen begleitet, um die hydro-mechanische Gebirgsantwort zu analysieren. Die numerischen Berechnungen wurden weitestgehend erfolgreich abgeschlossen im Sinne einer plausiblen Erklärung des Gesteinsverhaltens. Als wesentlicher offener Punkt verbleibt das HM-Verhalten in der aufgelockerten Zone. Hier legen die Berechnungen nahe, eine schädigungsabhängige Permeabilität für Tonsteine zu definieren.

Zusätzlich wurde in Bure noch der Erhitzerversuch TER analog zu dem HE-D Versuch in Mont Terri gestartet. Seitens DBE TECHNOLOGY 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 Analyse des eigentlichen Erhitzerversuches wird im Rahmen des nachfolgenden FuE-Vorhabens TEMTON erfolgen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Erstellung des Entwurfs zum Abschlussbericht dieses Vorhabens.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9632</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein		
<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> 01.04.2002 bis 28.02.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 28.02.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 777.912,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Lux	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Um im Rahmen von Standortvergleichen und standortbezogenen Sicherheitsanalysen eine zu der langjährig erforschten Endlagerung im Wirtsgestein Steinsalz gleichermaßen qualifizierte Vergleichsuntersuchung unter dem Aspekt der Betriebs- und Langzeitsicherheit in nicht-salinaren Wirtsgesteinsformationen durchführen zu können, muss als Grundlage u. a. das mechanische und hydraulische Verhalten von Tongestein sowie die hydromechanischen Wechselwirkungen, die bei Tongesteinen eine größere Bedeutung haben als z. B. bei Granit oder Salzgesteinen, grundlegend erforscht werden. Darüber hinaus muss ein Instrumentarium erarbeitet werden, mit dessen Hilfe das Tragverhalten und die Funktionsfähigkeit des Gebirges sowohl als Tragelement wie auch als geologische Barriere sowie der geotechnischen Barrieren als Verbundkonstruktionen von umgebendem Gebirge und bautechnischen Abdichtungs-/Tragelementen analysiert und prognostiziert werden können.

Es ist daher Ziel des Vorhabens, unter Nutzung bestehender Software das vom Antragsteller im Rahmen der Schädigungsmechanik entwickelte Stoffmodell Hou/Lux mit den notwendigen Modifikationen auf Tongesteine zu übertragen und anzuwenden. Aufbauend auf abgesicherten laborativen Erkenntnissen soll herausgearbeitet werden, welche Erweiterungen zukünftig erforderlich sind, um das ebenfalls vom Antragsteller entwickelte HM-Kopplungskonzept in ein THM-Kopplungskonzept zu erweitern bzw. zu verbessern.

Das beantragte Vorhaben trägt dazu bei, die Prädiktionsqualität der für eine Prognose des Langzeitverhaltens und der Barrierenintegrität erforderlichen Nachweise zu erhöhen. Durch die im Rahmen des Vorhabens beabsichtigten Untersuchungen zum mechanisch-hydraulisch gekoppelten Materialverhalten von Tongesteinen sowie die qualitativ/quantitative Ertüchtigung des vorhandenen Simulationsinstrumentariums können die bei Standortvergleichen und Sicherheitsanalysen erforderlichen geomechanischen und geomechanisch-hydraulischen Nachweise auf verbesserter Grundlage geführt werden.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- a) Bereitstellung von Probenmaterial
- b) Bau von Prüfständen zur Ergänzung der bestehenden Laborausstattung
- c) Kurzzeitversuche (TC- und TE-Festigkeitsversuche)
- d) Kriechversuche (TCc- TEc-Versuche)
- e) Durchströmungsversuche
- f) Numerische Analysen zur Stoffmodellvalidierung
- g) Bewertung der Ergebnisdaten
- h) Schlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Bohrkernmaterial ist aus den Lagerstätten Konrad Schacht 1/2 (Deutschland - Kernlager BGR), Mont Terri (Schweiz - NAGRA), Bure (Frankreich - ANDRA) beschafft worden.
- AP2: Prüfstände für triaxiale Langzeitversuche mit Dilatanz- und Ultraschallwellenmessung sind konstruiert, gebaut und in Betrieb genommen worden.
- AP3: TC-Festigkeitsversuche an Vollprüfkörpern der Lokation Mont Terri mit messtechnischer Erfassung der Dilatanz zur Bestimmung zentraler Gesteinsparameter, d. h. Verformungs- und Kurzzeitfestigkeitsverhalten sowie Volumenänderung- und Formänderungsarbeit unter Berücksichtigung der Spannungsgeometrie mit lokationsbezogenen Streubreiten sind geplant und durchgeführt worden; Versuchsreihen zur Identifizierung von grundsätzlichen Alterungsaspekten im Rahmen des Verformungs- und Kurzzeitfestigkeitsverhaltens an unter verschiedenen Randbedingungen gelagertem Kernmaterial der Lokation Mont Terri sind durchgeführt worden.
- AP4: Triaxiale Kriechversuche an Vollprüfkörpern der Lokation Mont Terri mit messtechnischer Erfassung der Dilatanz und Bestimmung zeitabhängiger Gesteinsparameter (d. h. Kriechparameter), sowie der Kriechbruchparameter unter Berücksichtigung der Spannungsgeometrie mit lokationsbezogenen Streubreiten sind durchgeführt worden.
- AP5: Versuchsserien an Kernmaterial der Lokation Mont Terri zur Identifizierung der lagerungsbedingten Ausprägung der das mechanische Materialverhalten von Tongestein maßgeblich beeinflussenden hydraulischen Verhältnisse (Porenwasserdruck, Wassergehalt) sind geplant und durchgeführt worden.
- AP6: Modifizierung des im Rahmen der Schädigungsmechanik entwickelten Stoffmodells *Hou/Lux* zur Anwendung auf Tongesteine; Übertragung des HM-Kopplungskonzepts zur Beschreibung der geomechanisch-geohydraulischen Wechselwirkungen im Tragwerk auf Tongestein; Implementierung des Stoffmodellansatzes für Tonstein und HM-Kopplung in MISES3; Erweiterung des FEM-Programmsystems MISES3 zur graphischen Darstellung der Permeabilitätsänderung im Rahmen der hydromechanischen Kopplung; Durchführung von Verifikations- und Validationsberechnungen; Erweiterung der numerischen Modellierung auf das FDM-Programmsystem FLAC3D im Hinblick auf die Analyse des Tragverhaltens sowie die Funktionsfähigkeit des Gebirges als Tragelement; Durchführung von weiteren Verifikations- und Validationsberechnungen.
- AP7: Zusammenstellung von in der Literatur angegebenen Referenzbeispielen für die Analyse des Tragwerkverhaltens im Tonstein zur Validierung des Stoffmodellansatzes; Durchführung und Auswertung von ersten numerischen Modellberechnungen mit aus der Literatur abgeleiteten Eingabeparametern; Durchführung von weiteren Verifikations- und Validationsberechnungen auf der Grundlage von eigenen laborativen Untersuchungsergebnissen; Bestimmung eines auf der Grundlage von vorlaufenden laborativen Untersuchungen mit institutseigenen Prüfständen hinreichend abgesicherten Parametersatzes zur Beschreibung des mechanischen Verhaltens von Tongestein vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung. Herausarbeitung grundsätzlicher numerischer Erfahrungen im Tonsteingebirge durch Stoffmodell- / Parametervariation an Referenzmodellen (Strecken) im Tonsteingebirge mit dem FDM-Programmsystem FLAC3D.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Keine
- AP2: Keine
- AP3: Keine
- AP4: Keine
- AP5: Keine
- AP6: Keine
- AP7: Keine
- AP8: Erarbeitung eines Schlussberichtes, Abgabe bis spätestens 31.08.2006

### 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 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 Kopplung CE-DAD-ICP-MS wurde weiter entwickelt. Durch Einbau eines lichtfokussierenden Bauteils in die DAD-Zelle wurde die Nachweisgrenze für Aldrich-Huminsäure auf 20 mg/L gesenkt.

Die Wechselwirkung von Pu(III) mit Aldrich-Huminsäure und Kaolinit wurde in Abwesenheit von CO<sub>2</sub> unter Argonatmosphäre untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Reihenfolge der Kontaktierung einen Einfluss auf die Sorption von Plutonium an Kaolinit hat. Erfolgt zuerst die Komplexbildung von Plutonium mit Huminsäure, dann bleibt bei der Wechselwirkung mit Kaolinit ein größerer Anteil von Plutonium in Lösung. Wird das Plutonium zuerst an Kaolinit sorbiert und anschließend Aldrich-Huminsäure zugegeben, dann wird ab pH 7 an Kaolinit sorbiertes Plutonium teilweise desorbiert. Das ternäre System Pu(IV) Kaolinit, Huminstoff wurde in Anwesenheit von CO<sub>2</sub> studiert. Die Gegenwart von Huminstoffen (HA; FA) beeinflusst die Sorption von Pu(IV) an Kaolinit beträchtlich. Wie beim Pu(III) ist die Sorption von Pu(IV) an Kaolinit abhängig von der Reihenfolge der Kontaktierung.

Die Kinetik der Sorption von Np(V) an Kaolinit wurde in zeitabhängigen Experimenten mit einer Np(V)-Konzentration von  $8 \cdot 10^{-6}$  M und unter Einfluss von  $\text{CO}_2$  untersucht. Dabei zeigte sich ein teilweise reversibles, schnelles Sorptionsverhalten.

Weiterhin wurden Isothermen aufgenommen. Bei konstantem Phasenverhältnis von 4 g/L (0,1 M  $\text{NaClO}_4$ ) und einem Np(V)-Konzentrationsbereich von  $6 \cdot 10^{-12}$  M bis  $1,5 \cdot 10^{-4}$  M bei pH 9,0 an Luft steigt in doppelt-logarithmischer Auftragung die Np-Sorption linear bei einer Steigung von  $\sim$  eins mit der Np-Gleichgewichtskonzentration im Bereich von  $6 \cdot 10^{-12}$  M bis  $1 \cdot 10^{-6}$  M an. Dies deutet auf eine Langmuir-Isotherme hin. Den Sättigungsbereich beobachtet man ab einer Np-Konzentration von  $1 \cdot 10^{-5}$  M. Ab dieser Konzentration ist die Ausfällung von  $\text{NaNpO}_2\text{CO}_3$  zu erwarten. Unter Variation des Phasenverhältnisses in einem Konzentrationsbereich zwischen 0,5 g/L und 25 g/L (0,1 M  $\text{NaClO}_4$ ) und konstanter Np(V)-Konzentration von  $8 \cdot 10^{-6}$  M bei pH 9,0 zeigte sich, dass nahezu vollständige Sorption ab einem Phasenverhältnis von ca. 10 g/L auftritt.

Zur Untersuchung der Sorption von Np(V) an Hämatit wurde die Mineralphase dargestellt und mittels XRD, XPS und durch Bestimmung der BET-Oberfläche charakterisiert. Die Sorption von Np(V) mit einer Konzentration von  $8 \cdot 10^{-6}$  M an Hämatit (4 g/L, Oberfläche  $\sim 47$  m<sup>2</sup>/g, 0,1 M  $\text{NaClO}_4$ ) wurde in Batch-Experimenten in einem pH-Bereich zwischen 4,0 und 10,5 in An- und Abwesenheit von  $\text{CO}_2$  untersucht. In beiden Systemen liegt die Sorptionskante bei pH 6,0. Ab pH 7,0 erfolgt vollständige Sorption, wobei unter Einfluss von  $\text{CO}_2$  die Sorption ab pH 9,5 bis auf 90 % absinkt. Die vollständige Sorption über einen weiten pH-Bereich ist auf die vergleichsweise große effektive Oberfläche zurückzuführen, was eine Bestimmung des Sorptionsmaximums verhindert.

Um weitere Informationen zum Sorptionsmaximum zu erhalten, wurde eine Isotherme unter Variation des Phasenverhältnisses aufgenommen. Bei konstanter Np(V)-Konzentration von  $8 \cdot 10^{-6}$  M, einem pH-Wert von 8,5 und Hämatitkonzentrationen von  $5 \cdot 10^{-3}$  g/L bis 4 g/L (0,1 M  $\text{NaClO}_4$ ) zeigte sich, dass vollständige Sorption ab ca. 1 g/L erfolgt.

Zur Untersuchung der Speziation des Systems Np(V)/Hämatit wurden entsprechend der ermittelten Sorptionsverläufe Proben sowohl unter Einfluss als auch unter Ausschluss von  $\text{CO}_2$  für EXAFS-Experimente an ROBL/ESRF (Juli 2006) präpariert.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Sorptionsstudien von Pu(IV) an Kaolinit in Anwesenheit von Huminstoffen sollen unter Ausschluss von  $\text{CO}_2$  fortgeführt und mit denen von Th(IV) verglichen werden. Weitere Experimente zur Speziation von Pu(III) an Kaolinit mittels XANES- und EXAFS-Spektroskopie sind geplant.

Darüber hinaus sind Untersuchungen im System Np(V)/Kaolinit zur Erweiterung des Datenbestandes vorgesehen; insbesondere EXAFS-Messungen zur Untersuchung der Speziation unter Variation der Ionenstärke (0,01 M und 0,1 M).

Zur Sorption von Np(V) an Hämatit sollen zunächst die gemessenen EXAFS-Spektren ausgewertet und die sorbierten Np-Oberflächenspezies an Hämatit ermittelt werden. In weiteren Untersuchungen ist eine Anpassung des Phasenverhältnisses und Reduzierung der Ionenstärke auf 0,01 M in Batch-Experimenten geplant. Weiterhin sollen zeitabhängige Sorptionsversuche Informationen über die Kinetik des Sorptionsprozesses liefern.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

St. Bürger, R.A. Buda, H. Geckeis, G. Huber, J.V. Kratz, P. Kunz, C. Lierse von Gostomski, G. Passler, A. Remmert, N. Trautmann:

Isotope Selective Ultratrace Analysis of Plutonium for Environmental Studies by Laser Mass Spectrometry in: Radioactivity in the Environment, Volume 8, (P.P. Povinec, J.A. Sanchez-Cabeza, eds.), Elsevier Ltd, 581 (2006)

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- AP 1: Beprobung, Präparation und Charakterisierung von geogenen Kohlenstoffverbindungen
- AP 2: Markierung und radioanalytische Charakterisierung von geogenen und anthropogenen Kohlenstoffverbindungen mit geeigneten Radionukliden
- AP 3: Studium der Wechselwirkung zwischen geogenen und anthropogenen Kohlenstoffverbindungen mittels Radiotracern
- AP 4: Untersuchung des Einflusses von anthropogenen Kohlenstoffverbindungen auf die Komplexbildung und Sorption radioaktiver Schwermetalle mit geogenen Kohlenstoffverbindungen an relevanten Geomatrices (Kaolinit, Granit)
- AP 5: 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
- AP 6: Dynamische Untersuchungen an Geomatrices zur Mobilität von Schwermetallspezies in Gegenwart von geogenen und anthropogenen Kohlenstoffverbindungen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Status der Arbeitspakete:

- AP 2: Radiomarkierung von Huminsäure mit  $^{124}\text{I}$  für Positronen-Emissions-Tomographie (PET)
- AP 3: Quantitative Untersuchungen zur Mischaggregation von Huminstoffen mit niedermolekularen Fremdorganika (Radiotracerexperimente mit  $^{14}\text{C}$ -markierten anionischen und nichtionischen amphiphilen Verbindungen)
- AP 5: Charakterisierung der Wechselwirkung von Fe(III) mit Huminstoffen zur Aufklärung kinetischer Effekte
- AP 6: PET-Messungen mit  $^{86}\text{Y}$  zur Visualisierung des huminstoffgebundenen Transportes höherwertiger Metalle (Säulenversuche in Sandmatrix)

Ergebnisse:

Abschließende Untersuchungen zur Aufklärung von Langzeitprozessen im System Fe(III) / Huminstoff / Eu(III) zielten insbesondere auf die Ableitung von Konsequenzen bzgl. der Anwendbarkeit von Gleichgewichtsthermodynamischen Ansätzen in Transportmodellen. Es wurde gezeigt, dass der Abbau polynuklearer Fe-Hydrolysespezies im Kontakt mit Huminsäure von der Kapazität an Bindungsplätzen abhängig ist und bei ausreichendem Überschuss an Huminsäure vollständig erfolgt. Somit ist die anfängliche Bildung kolloidaler Assoziate lediglich als metastabiler Zustand zu charakterisieren, der einer gewöhnlichen mononuklearen Humatkomplexbildung vorgelagert ist. Da der Zeitrahmen des kinetischen Effektes auf wenige Wochen beschränkt ist und die Gesamtmenge an gebundenem Eisen unverändert bleibt, kann die Wechselwirkung durch Komplexbildungskonstanten korrekt beschrieben werden.

Die in Octanol-Wasser-Verteilungsversuchen gefundenen Aggregationsprozesse zwischen Huminstoffkolloiden und amphiphilen Molekülen wurden anhand von  $^{14}\text{C}$ -markierten Verbindungen mittels Ultrafiltration und Anionenaustauschtrennung quantitativ untersucht. Sowohl für anionische als auch für nichtionische Tensidkomponenten konnte der Nachweis einer Wechselwirkung bislang nicht zweifelsfrei erbracht werden, was auf mangelnde radiochemische Reinheit der Präparate zurückzuführen ist.

Anhand des Positronenstrahlers  $^{86}\text{Y}$  als Analogtracer für dreiwertige Actiniden konnte ein kolloidge-tragener Stofftransport erstmals mittels PET abgebildet und direkt in seiner räumlichen und zeitlichen Entwicklung analysiert werden. Das Metall wurde in einer Sandmatrix vollständig mobilisiert (Pulsinjektion einer Lösung von  $^{86}\text{Y}]\text{YCl}_3$  und Huminsäure bei kontinuierlichem Durchfluss, pH 5 - 6).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Weitere Arbeiten zur quantitativen Untersuchung von Wechselwirkungsprozessen zwischen Huminstoffkolloiden und niedermolekularen Fremdorganika.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

(1 Veröffentlichung eingereicht)

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 E 9673</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von In- strumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>  01.07.2003 bis 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b>  01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b>  352.156,00 EUR	<b>Projektleiter:</b>  Prof. Dr. Bernhard	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens sind Beiträge für zuverlässige Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von Actiniden in Tongesteinen in Gegenwart von Huminstoffen. Es sollen die Wechselwirkungen zwischen Huminstoffen, U und Np und Kaolinit als Hauptkomponente von Tonen studiert werden. In detaillierten Studien werden die Actinid-Huminstoff-Komplexierung und der Einfluss von Huminstoffen auf die Actiniden-Sorption am Kaolinit untersucht, auch unter Berücksichtigung von kinetischen Prozessen und Konkurrenzreaktionen. Mit synthetischen Huminsäuren soll der Einfluss stickstoffhaltiger funktioneller Gruppen auf die Metallionen-Komplexierung und die Wirkung von Tonmineralen auf die Huminsäure-Bildung und deren Eigenschaften studiert werden. Im Hinblick auf präzisere Modellrechnungen ist eine Weiterentwicklung des Ladungsneutralisationsmodells zur Huminsäure-Komplexierung geplant. Das Forschungsvorhaben erfolgt in Kooperation mit den Förderprojekten 02E9652, 02E9662, 02E9682, 02E9692, 02E9703, 02E9924 und dem Institut für Nukleare Entsorgung, Forschungszentrum Karlsruhe.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Synthese und Charakterisierung stickstoffhaltiger Huminsäuremodellverbindungen zur Bestimmung des Einflusses stickstoffhaltiger Huminsäurefunktionalitäten auf die Metallionen-Komplexierung
2. Studien zur Huminstoff-Bildung und -Charakterisierung in Gegenwart von Tonmineralen
3. Synthese <sup>14</sup>C-markierter Huminsäuren für Sorptionsuntersuchungen
4. Untersuchungen zur Komplexbildung im System Actinid-Huminsäure-Wasser
5. Weiterentwicklung des Ladungsneutralisationsmodells: Parametrisierung der Beladungskapazität
6. Huminsäure-Komplexierungs-Datenbank: Pflege, Erweiterung und Auswertung des Datenbestandes
7. Studien zur U- und Np-Sorption an Kaolinit in An- und Abwesenheit von Huminsäuren. Untersuchung der Oberflächenkomplexe, der Spezies in Lösung sowie der Reaktionskinetik
8. Experimente zur Migration von Actiniden in Gegenwart von Huminstoffen und Untersuchungen zum kolloidgetragenen Actiniden-Transport

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- In Kooperation mit der TU Bergakademie Freiberg (Inst. f. Analyt. Chemie) wurden die Huminsäuren (HS) [<sup>15</sup>N]M1 und M1 sowie [<sup>15</sup>N]Phenylalanin zur Identifizierung N-haltiger funktioneller Gruppen mittels <sup>15</sup>N-NMR-Spektroskopie charakterisiert. Resonanzsignale in den NMR-Spektren der HS [<sup>15</sup>N]M1 weisen auf das Vorhandensein folgender N-Funktionalitäten hin: NH in Pyrrolen; H-freier N in Heterozyklen; NH in Amidstrukturen; primäre, sekundäre und tertiäre Amine.
- Die FTIR-Untersuchungen zum Einfluss stickstoffhaltiger HS-Funktionalitäten auf die U(VI)-Komplexierung wurden mit Hydrozimsäure (HZ), Phenylalanin (Phe) und Glycin (Gly) als Modellliganden fortgesetzt (pH 3.2). Die Uranylkomplexe von HZ und Phe zeigen fast identische IR-Banden. UO<sub>2</sub>-Banden liegen bei 925.0 (HZ) bzw. 924.9 (Phe) cm<sup>-1</sup> (freies UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>: 960.8 cm<sup>-1</sup>) und COO<sup>-</sup>-Banden sind deutlich ausgeprägt (1535.0, 1461.3 cm<sup>-1</sup> bei HZ; 1533.9, 1458.8 cm<sup>-1</sup> bei Phe). Die Ergebnisse sind ein weiterer Hinweis darauf, dass Phe nur über die COOH-Gruppe an das UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>-Ion bindet und die NH<sub>2</sub>-Gruppe nicht an der Koordinierung beteiligt ist. Für das U(VI)-Gly-System wurden vergleichbare Ergebnisse erhalten.
- Die TRLFS-Messungen zur Identifizierung von U(VI)-Oberflächenkomplexen an Kaolinit in Ab- und Anwesenheit von HS wurden fortgesetzt. Zur Bestimmung der Fluoreszenzeigenschaften von U(VI)-Oberflächenkomplexen mit Aluminolgruppen wurden U(VI)-Gibbsit-Proben (pH 5-8) mit optimierten Messbedingungen neu gemessen. Parallel dazu wurden Messungen von U(VI) sorbiert an Silicagel begonnen.
- Der Einfluss des pH-Wertes auf die Diffusion von HS sowie von U(VI) in Ab- und Anwesenheit von HS wurde im System Kaolinit-Wasser (pH 5, pH 7; I: 0.01 M NaClO<sub>4</sub>; HS [<sup>14</sup>C]M42: 12 mg/l) untersucht. HS: Eine Zunahme des pH-Wertes bewirkt einen Anstieg des effektiven Diffusionskoeffizienten. Im Gegensatz zu den Batchversuchen wird eine Zunahme von Sorptionsprozessen beobachtet, die den Gesteinskapazitätsfaktor erhöhen. U(VI): Bei pH 5 als auch pH 7 hat HS eine immobilisierende Wirkung auf den U(VI)-Transport im Kaolinit. U(VI) wird an der Grenzschicht Ton/freie Lösung als Humat-Komplex zurückgehalten.
- Die digitale Huminstoff-Komplexierungs-Datenbank wurde aktualisiert (UO<sub>2</sub>(OH)HS(I)).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Erstellung des Abschlussberichts zum Forschungsvorhaben 02 E 9673
- Teilnahme an 13. IHSS-Konferenz in Karlsruhe (30.07.-04.08.06) mit zwei Posterbeiträgen:
  - Křepelová, A. et al.: Influence of Humic Acid on U(VI) Sorption onto Kaolinite: Studies Using Extended X-ray Absorption Fine Structure Measurements and Time-Resolved Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy.
  - Sachs, S., Mibus, J. : Migration Behavior of Humic Acids in Compacted Clay and its Influence on the Uranium Transport.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Křepelová, A., Sachs, S., Bernhard, G.: Uranium(VI) Sorption onto Kaolinite in the Presence and Absence of Humic Acid. *Radiochim. Acta*, accepted.
- Křepelová, A. et al.: Influence of Humic Acid on U(VI) Sorption onto Kaolinite Studied by TRLFS and EXAFS. Vortrag und Proceedings (S. 45), 15th Radiochemical Conference, Mariánské Lázně, Czech Republic, 23.-28.04.2006.
- Sachs, S., Bernhard, G.: Uranium(VI) Adsorption onto Synthetic Humic Substance-Kaolinite Sorbates. Vortrag und Proceedings (S. 46), 15th Radiochemical Conference, Mariánské Lázně, Czech Republic, 23.-28.04.2006.
- Mibus, J., Sachs, S., Křepelová, A.: Diffusion of Humic Acid in Compacted Clay. Vortrag und Proceedings (S. 188), Bridging Clays, Joint Meeting of The Clay Minerals Society and the French Clay Group, Ile d'Oléron, France, 06.-07.06.2006.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Konkurrenzkatationen 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

AP1: Untersuchungen des Systems Huminsäure-Kaolinit (binäres System I):

Ist abgeschlossen.

AP2: Das System Metall-Huminsäure (binäres System II):

Ist weitestgehend abgeschlossen.

AP3: Das System Metall-Kaolinit (binäres System III)

Ist abgeschlossen.

AP4: Das ternäre System Metall-Huminsäure-Kaolinit

Ist abgeschlossen.

### Zusätzliche Arbeitspakete

ZAP1: Es soll untersucht werden, inwiefern eine Modifizierung der verwendeten Huminsäure durch eine Halogenierung durchgeführt werden kann, so dass diese simultan mit den freien bzw. komplexierten Schwermetallen mittels CE-ICP-MS analysiert werden kann.

ZAP2: In diesem Arbeitspaket soll der Einfluss von Al im ternären System untersucht werden, da das aus Ton freigesetzte dreiwertige Al neben den natürlich vorkommenden zweiwertigen Metallen Ca und Mg ein noch stärkeres Konkurrenzkatation für die Lanthaniden bei der Sorption bzw. Desorption darstellt.

ZAP3: Eine vergleichende Untersuchung von Ultrafiltration, Ultrazentrifugation und CE-ICP-MS im Hinblick auf die Trennleistung von freiem bzw. huminsäure-komplexiertem Metall soll anhand der markierter und damit ICP-MS-detektierbaren Huminsäure (aus ZAP1) durchgeführt werden .

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde die Bestimmung der Komplexbildungskonstanten von Eu und Gd mit Huminsäure (AP2) mittels CE-ICP-MS (6,44 bzw. 6,38) sowie zusätzlich mit Hilfe der Ultrafiltration (6,68 bzw. 6,42) durchgeführt.

Bei der Untersuchung des ternären Systems (AP4) führt eine niedrige Metallfracht (Lanthanidkonzentrationen  $< 5 \mu\text{mol/l}$ ) in Gegenwart von huminsäurehaltigem Wasser (25 mg/l Aldrich-Huminsäure) zu einer geringeren Metall-Sorption an Kaolinit, da Eu und Gd durch die Anwesenheit von Huminsäure als negativ geladene Humat-Komplexe in Lösung gehalten werden und dadurch nicht am ebenfalls negativ geladenen Kaolinit sorbiert werden können.

Auch bei höheren pH-Werten konnte im ternären System eine niedrigere Retardation der Lanthaniden an Kaolinit durch den höheren Anteil negativ geladener Humat-Komplexe nachgewiesen werden. Dagegen führt die Anwesenheit von Ca und/oder Mg zu einem höheren Anteil an neutralen Humat-Komplexen im ternären System Lanthanid-Huminsäure-Kaolinit, wodurch die Sorption der Lanthaniden an das Tonmineral Kaolinit verstärkt wird.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im Vordergrund steht im nächsten Berichtszeitraum die Bearbeitung der zusätzlich beantragten Arbeitspakete, die teilweise schon in Angriff genommen wurden. So konnte eine Iodierung der verwendeten Huminsäure als ICP-MS-Marker erfolgreich durchgeführt werden (siehe Veröffentlichungen), wodurch eine Bearbeitung der weiteren Fragestellungen (ZAP3) möglich ist. Die noch ausstehenden Versuche zum Einfluss der Konkurrenzionen Ca und Mg auf Lanthanid-Huminsäure-Komplexierung (AP2) sowie die Konkurrenzversuche mit Al bei der Sorption bzw. Desorption im ternären System (ZAP2) sind zurzeit in Bearbeitung.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Beck H.P., Wagner H., Gottfreund T., Zeitz M. (2004): Investigations of the Behaviour of the Heavy Elements Cu, Zn, Cd and Pb in the Ternary System Metal-Humic Acid- Sand. Final report (Support contract number 02 E 93095). In: Investigations on the Complexation Behaviour of Humic Acids and their Influence on the Migration of Radioactive and Nonradioactive Substances under Conditions close to Nature, C.M. Marquardt (ed.). Wiss. Berichte FZKA 6999, S. 143-175.

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.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstraße 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9693</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Quantenmechanische Modellierung der Komplexbildung von Actiniden durch Huminstoffe		
<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 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 327.328,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Rösch	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

- Quantenmechanische Modellierung der Komplexbildung von Actiniden durch Huminstoffe.
- Anwendung und projektspezifische Anpassung der relativistischen Dichtefunktionalmethode im Programmpaket PARAGAUSS.
- Untersuchung der Wechselwirkung für Huminstoffe typischer funktioneller Gruppen mit Actiniden.

Bezug zu anderen Vorhaben:

Teilprojekt im Verbund „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Komplexe von Carbonsäuren und alternativer Funktionalitäten mit Actiniden

AP2: Huminstoff-Modelle

AP3: Methodische Arbeiten

Im Arbeitspaket (AP) 1 werden computerchemische Untersuchungen zur Komplexbildung verschiedener Funktionalitäten mit Actiniden durchgeführt, die in AP 2 auf Huminstoff-Modelle erweitert werden. AP 3 umfasst projektspezifische methodische Arbeiten am Programmpaket PARAGAUSS.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1.1: Sechsfach äquatorial koordinierte Uranyl-Monoacetate; AP 1.2: Uranyl-Komplexbildung mit aromatischen Carboxylaten in Lösung; AP 1.3: Uranyl-Komplexbildung mit alkoholischen Gruppen in Lösung.

Mit der Modellierung von Uranylmonoacetat mit sechsfacher äquatorialer Koordination wird AP 1.1 abgeschlossen. Im Vergleich mit fünffach koordinierten Komplexen konnte anhand von Energien gezeigt werden, dass ein weiterer Wasserligand schwach gebunden werden kann. Aufgrund der berechneten Energien erwartet man, dass derartige Komplexen mit bidentater Koordination des Acetats stabiler sind als monodentate. Die bei äquatorial sechsfach koordinierten Komplexen

erhaltenen mittleren U-O-Abstände zu Liganden in der Äquatorialebene des Uranyls von etwa 244 pm bestätigen die von uns aufgestellte Hypothese, dass diese Größe in erster Linie von der Koordinationszahl abhängt, und nicht wie bisher angenommen von der Art der Koordination des Carboxylatliganden.

In AP 1.2 wurden die Untersuchungen von aromatischen Carboxylaten fortgeführt. Die bisherigen  $C_s$ -symmetrischen Modelle wurden um Optimierungen ohne Symmetriebeschränkungen erweitert, um dann thermodynamischer Parameter bestimmen zu können. Erste Ergebnisse liegen vor; insbesondere aufwändige Berechnungen der Normalmoden sind noch in Arbeit.

Berechnungen zur Komplexierung durch alkoholische Gruppen wurden in AP 1.3 fortgeführt. Bisherige Ergebnisse zeigten, dass der mittlere Abstand äquatorialer Liganden U-O<sub>äq</sub> mit Ergebnissen für Carboxylate vergleichbar ist. Damit werden nun anhand mehrerer Phenolderivate EXAFS-Ergebnisse aus Rossendorf bestätigt, die keine Änderung von U-O<sub>äq</sub> zeigen, wenn phenolische Gruppen in Huminstoffen blockiert werden. Die Komplexierung durch Alkoholat liefert jedoch eine leichte Verlängerung der Uranylbindung um 1-2 pm. Vergleiche der freien Energie der Komplexierung zwischen aliphatischen und aromatischen Alkoholen sowie Ameisensäure als starke Carbonsäure unterstützen bisherige Annahmen, dass eine Komplexierung durch alkoholische Gruppen nicht nur bei hohen pH-Werten möglich ist. Wichtig ist hierbei die durch das Feld des Uranylions erleichterte Deprotonierung der Alkohole. Bei diesen Berechnungen zeigte sich, dass kurzreichweitige Solvatationseffekte eine wesentliche Rolle bei der Bestimmung freier Energien in Lösung spielen. Wird in einem einfachen Modell nur das zweifach geladene Uranylmolekül mit expliziten Wasserliganden umgeben, so werden Komplexierungsreaktionen  $UO_2^{2+} + LH + H_2O \rightarrow UO_2L^+ + H_3O^+$  durch Alkohole und Carbonsäuren als leicht endotherm ermittelt. Eine Verbesserung des Solvationsmodells durch weitere Wasserliganden führt zu leicht exothermen Reaktionen. Dieser Befund unterstreicht auch die Notwendigkeit unserer Arbeiten im Hinblick auf genauere und diskrete Solvationsmodelle.

Ebenfalls AP 1.3 zuzurechnen sind Untersuchungen zur Chelatkomplexierung von Uranyl durch 1,2-Dihydroxyphenol, wobei protonierte wie auch einfach und zweifach deprotonierte Spezies betrachtet wurden. Ein zweifach deprotonierter Ligand ist wie erwartet aufgrund der starken elektrostatischen Anziehung stärker gebunden. Für den einfach deprotonierten Liganden wird eine Bindungsenergie berechnet, die mit der von Phenol vergleichbar ist. Von Entropiebeiträgen erwartet man eine Stabilisierung der Chelatkomplexe. Diese Berechnungen sowie ein detaillierter Vergleich mit dem Chelatkomplex der Monohydroxybenzoesäure werden derzeit bearbeitet.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Abschließende Arbeiten werden fortgeführt.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

F. Schlosser, S. Krüger, N. Rösch: "A density functional study of uranyl monocarboxylates", *Inorg. Chem.* 45, (2006) 1480-1490

F. Schlosser, A Relativistic Density Functional Study of Actinide Complexation in Aqueous Solution, Dissertation, TU München, 2006.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

Da auch die von der Fa. Q-Sense neu gelieferten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - und Aluminium-beschichteten Schwingquarzsensoren nicht die geforderten Spezifikationen hinsichtlich der Stabilität der Metallisierung bei Kontakt mit Huminstofflösungen erfüllten, wurde eine eigene Beschichtungstechnologie aufgebaut. Die besten Erfolge wurden durch Aufdampfen von etwa 50 nm Aluminium auf mit Goldelektroden ausgestattete Schwingquarze erzielt. Dabei diente eine 5 nm dicke Titanschicht als Haftvermittler. Untersucht wurde die Interaktion der Huminstoffe mit der oxidierten Aluminium-Oberfläche als Modellsystem für die Wechselwirkung mit Tonmineralen.

Die Schwingquarzmessungen zeigen bei pH 3 einen zweistufigen Adsorptionsprozess. Bei pH 5 wird hingegen nur ein Adsorptionsschritt beobachtet. Parallel durchgeführte ellipsometrische Messungen ergeben im Bereich von 0 bis 50 mg/l Huminstofflösung konzentrationsabhängige Endbedeckungen. Interessanterweise stimmen dabei die bei pH 5 und die für den ersten Adsorptionsschritt bei pH 3 gemessenen Schichtdicken gut überein. Für den zweiten Adsorptionsschritt bei pH 3 werden hingegen signifikant höhere Schichtdicken beobachtet.

Berechnet man unter Berücksichtigung der viskoelastischen Eigenschaften des hydratisierten Huminstoffadsorbats aus der bei Schwingquarzmessungen ermittelten Frequenzverschiebung die Filmdicke, so ergeben sich für den ersten Adsorptionsschritt bei pH 3 sowie für den Adsorptionsprozess bei pH 5 Endwerte von etwa 3 nm bei hohen Huminstoffkonzentrationen. Die entsprechenden Werte für den zweiten Adsorptionsschritt bei pH 3 liegen bei durchschnittlich 15 nm.

Da die ellipsometrischen Messungen *ex situ* an trockenen Filmen durchgeführt wurden, werden tendenziell niedrigere Schichtdicken beobachtet als in Schwingquarzmessungen unter direktem Flüssigkeitseinfluss. Hinzu kommt, dass in den Schwingquarzmessungen nicht nur der adsorbierte Huminstoff allein, sondern auch die von ihm gebundenen Wassermoleküle mit erfasst werden. Ob sich unter Berücksichtigung dieser beiden Effekte eine quantitative Übereinstimmung der beiden Datensätze erzielen lässt, wird gegenwärtig untersucht. In diesem Zusammenhang soll auch versucht werden, ellipsometrische Schichtdickenbestimmungen bei Flüssigkeitskontakt durchzuführen.

Es wird vermutet, dass der erste Adsorptionsschritt bei pH 3 und die Filmbildung bei pH 5 der direkten Bindung von Huminstoff an die oxidierte Aluminium-Oberfläche entspricht, während der zweite Adsorptionsschritt bei pH 3 Multilagenbildung zuzuschreiben ist. Unterstützt wird diese Annahme sowohl durch die Tatsache, dass ein Teil des Filmes irreversibel an die Oberfläche gebunden ist, als auch durch die hohen Dissipationswerte, die in den Schwingquarzmessungen für den 2. Adsorptionsschritt bei pH 3 gefunden werden. Zur Zeit werden röntgenphotoelektronenspektroskopische (XPS) Untersuchungen durchgeführt, die klären sollen, ob zwei unterschiedliche Adsorbatschichten – entsprechend chemisorbierter bzw. physisorbierter Huminstoffspezies – nachgewiesen werden können.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im Bereich der Beschichtungstechnologie wird daran gearbeitet, die Stabilität der Aluminium-Beschichtungen weiter zu verbessern. Hierbei werden Sputter- und Bedampfungstechniken miteinander verglichen sowie unterschiedliche Haftvermittler eingesetzt. Darüber hinaus soll ein heizbarer Probenhalter gebaut werden, der ein Ausheizen der Sensoren vor der Aluminium-Beschichtung erlaubt. Unter Verwendung von Schwingquarzsensoren mit verbesserter Stabilität der Aluminium-Beschichtung sollen die systematischen Studien zur Konzentrations-, pH- und Temperaturabhängigkeit der Huminstoffadsorption an oxidierten Aluminium-Oberflächen fortgesetzt werden. Wie die Experimente des letzten Halbjahres gezeigt haben, ist die aktuelle Stabilität der Aluminium-Beschichtung für einen Teil dieser Experimente bereits ausreichend. Ergänzt werden die Schwingquarzmessungen durch eine Charakterisierung der Adsorbatschichten mittels Ellipsometrie, XPS und Infrarotspektroskopie.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006
<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**

**EQLINK:** Im Berichtszeitraum wurden nur noch geringfügige Änderungen am Quellcode vorgenommen, die sich aus Rechenläufen mit LOPOS und CLAYPOS ergeben haben.

**EMOS:** Es wurden Modellrechnungen mit LOPOS und CLAYPOS vorgenommen. Für die Rechnungen mit LOPOS wurde im Wesentlichen auf Parameter für EQ3/6 („HMW-Datenbasis“) und Radionuklidaten des INE zurückgegriffen. Rechnungen mit CLAYPOS liefen im Wesentlichen Parametern von PSI/NAGRA. In beiden Fällen wurden als Folge radioaktiven Zerfalls entstehende Spaltprodukte mit berücksichtigt. In beiden Fällen werden plausible Ergebnisse erzielt. Jedoch stößt man bei Rechnungen mit LOPOS mit der Vielzahl auftretender chemischer Elemente auf rechentechnische Grenzen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Abfassung des Abschlussberichtes

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

Keine

<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 Ton- gestein			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von In- strumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 31.12.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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. Abfallgebinde 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. Die Referenzregionen wurden in Zusammenarbeit mit der BGR-Berlin ermittelt. 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.

Basierend auf den ermittelten thermophysikalischen Parametern im Niedersächsischen Becken wurden im Berichtszeitraum thermische Auslegungsberechnungen für das Konzept der Streckenlagerung (Pollux-Behälter) durchgeführt. Bestimmt wurden die minimal notwendige Abkühlzeit an der Oberfläche sowie die beiden wesentlichen Designparameter Behälterabstand und Streckenabstand. Letztere sind notwendig, um auszuschließen, dass durch thermische Überlagerungseffekte eine Überschreitung des Temperaturkriteriums erfolgt. Die Berechnungsergebnisse wurden vergleichend zu den Ergebnissen zu der Referenzregion Süddeutschland betrachtet. Der Vergleich zeigt einen deutlich geringeren Flächenbedarf für ein Endlager im norddeutschen Raum.

Am Referenzmodell in Norddeutschland wurde eine Stabilitätsanalyse der Einlagerungsstrecken in den Unterkreidetonen durchgeführt. Ein Vergleich mit der Stabilitätsanalyse am Modell in Süddeutschland zeigt ein signifikant günstigeres Belastungsregime für die Unterkreidetone in Norddeutschland. In beiden Modellen resultiert die wesentliche Belastung aus der Auffahrung der Strecken selbst und nur zu einem geringen Teil aus der Belastung durch die einzubringende Wärme.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Entwicklung geologischer Modelle für noch verbleibende aussichtsreiche Regionen in Deutschland in Zusammenarbeit mit BGR-Berlin. Durchführung von thermischen Auslegungsberechnungen für die Referenzgebiete und Vergleich der Ergebnisse mit den bereits vorhandenen.

Durchführung von thermomechanischen Analysen zur Einschätzung der untertägigen Stabilitätsbedingungen in den unterschiedlichen Referenzformationen für das Konzept der Streckenlagerung. Es wird erwartet, dass Verformungen an den Streckenkonturen heterogener erfolgen als bei dem Konzept der Bohrlochlagerung, da die Wärmequellen (Pollux-Behälter) sich innerhalb der Strecken befinden und nicht unterhalb.

Die bisherigen Betrachtungen zur Streckenstabilität beinhalten noch nicht das rheologische bzw. das zeitliche Verhalten von Tonstein (z. B. Kriechen). Um sowohl die daraus resultierenden Zusatzbelastungen abzuschätzen als auch Aussagen über möglich Offenhaltungszeiträume machen zu können, sollen Berechnungen an bereits bestehenden Modellen mit geeigneten Materialgesetzen ergänzend erfolgen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Jobmann, M., Amelung, P., Uhlig, L., Polster, M., Schonebeck, M., Schmidt, H. 2006: Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tonstein in Deutschland, Statusseminar 3.-5. Mai, FZK, Karlsruhe.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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, 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. Die Messungen sollen modelltheoretisch begleitet werden, um die gemessenen Werte im Modell nachzuvollziehen und somit das Verständnis bezüglich des thermo-hydro-mechanischen Verhaltens des Barrierematerials verbessern zu können.

Nach der Installation erfolgt eine kontinuierliche Erfassung und Dokumentation der Messdaten. Das Verhalten des Barrierematerials wird rechnerisch simuliert und mit den gemessenen Werten analysierend verglichen. Es ist geplant, die Sensoren rückzuholen und abschließend hinsichtlich ihrer langzeitlichen Einsetzbarkeit in Barrierematerial zu analysieren.

## 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. In jeweils einem horizontalen Messquerschnitt, etwa in der Mitte der Behälter, sind faseroptische Sensoren zur Messung von Totaldruck, Porenwasserdruck und Temperatur eingebaut. Im Laufe des Versuches werden Temperaturen von 180° C in der Nähe der Behälteroberfläche erreicht. Im Berichtszeitraum erfolgte eine kontinuierliche Erfassung und Dokumentation der Messparameter.

Mit den bisher durchgeführten Modellberechnungen wurde versucht, eine erste Anpassung der Modellparameter an die gemessenen Werte zu erreichen. Anhand des weiteren zeitlichen Verlaufes der Messdaten zeigte sich, dass die bisherigen Anpassung insbesondere zu späteren Zeiten noch zu einer deutlichen Abweichung zu den Messdaten führt. Aus diesem Grund wurde nochmals eine umfangreiche Parameteranalyse gestartet, um heraus zu finden, welche Steuerungsgrößen die berechneten Verläufe näher an die gemessenen Daten - unter besonderer Beachtung späterer Zeiten - heranbringt.

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

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Kontinuierliche Erfassung und Analyse der Messdaten.
- Regelmäßige Überprüfung und Wartung des Mess-Systems.
- 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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**

- PET-Messungen zur Untersuchung des lokalen Fluidtransports im Spalt eines granitischen Bohrkern vom Felslabor ÄSPÖ bei Durchflussgeschwindigkeiten im Bereich von 0,1 ml/min.  
Ergebnis: Darstellung der heterogenen Flussverteilung im Spalt, Bestimmung lokaler Verteilungen von Transportgeschwindigkeit und Dispersion.
- PET-Messungen bei sehr niedriger Fließgeschwindigkeit zur Bewertung des Einflusses der Matrixdiffusion auf den Transport im Spalt.  
Ergebnis: experimentelles Messprogramm abgeschlossen, Auswertung in Bearbeitung.
- PET-Untersuchungen zur heterogenen Verteilung des Kolloidtransports im Spalt.  
Ergebnis: Transport von Huminstoff-Kolloiden im Spalt erfolgt im Vergleich mit einem konservativen Tracer mit geringerer Geschwindigkeit.
- 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.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Abschluss der Versuchsauswertung
- Abfassung 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 wurde innerhalb der Arbeitspakete I, II und III, folgendes Thema bearbeitet:

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

In unseren vorangegangenen Arbeiten wurden die Bildungs- und Stabilitäts-Bedingungen von anorganischen Kolloiden, sowie die Inkorporation von Actiniden während des Kolloidbildungsprozesses untersucht. Betont wurde der Syntheseprozess zur Bildung von Kolloiden durch Co-Polymerisation von natürlichen Elementen mit hoher Oxidationsstufe in Lösung, weil dieser Kolloidentstehungsweg eine maximale Wechselwirkung mit Actiniden gewährleistet. Die Synthese von HAS Kolloiden aus den häufigst vorkommenden Grundwasserelementen (Si(IV) und Al(III)), in Anwesenheit von Actiniden unterschiedlicher Oxidationsstufe (Am(III), Th(IV), Np(V), U(VI)), wurde als repräsentatives Modell-Experiment gewählt. In den laufenden Arbeiten wird angestrebt, das Modell auf natürlichen Grundwasser-Bedingungen zu erweitern unter Einbezug von Huminsäure als häufigst vorkommende organische Komponente. Huminsäure ist als starker Ligand für Elemente hoher Oxidationsstufe bekannt, und kann deshalb mit oben genannten Elementen im anorganischen Kolloidbildungsprozess interferieren. Im Experiment wird die Actinid-Inkorporation in HAS-Kolloiden unter verschiedenen Kombinationen von Parameterwerten (pH, Konzentration und Oxidationsstufe der Elemente, Konditionierungszeit etc.), sowohl ohne als auch in Anwesenheit von 6.5 ppm <sup>14</sup>C-markierte Huminsäure, untersucht. Dazu werden Am(III), Th(IV) und U(VI) in separaten Screeningsversuchen eingesetzt. Radiometrische und spektroskopische Analysemethoden werden herangezogen.

Die Ergebnisse zeigen, dass Huminsäure die HAS-Kolloidbildung kaum beeinträchtigt, während sie generell einen stabilisierenden Einfluss auf die Pseudokolloidbildung von Actiniden ausübt. Diese Stabilisierung erfolgt durch eine partielle bis vollständige Verdrängung vom Actinid-Ligand Silicylsäure durch den

Actinid-Ligand Huminsäure, unter Bildung von hybriden Humin/HAS- bzw. Humin-Pseudokolloiden von Actiniden. Der Effekt ist meist ausgesprochen für Am(III), gefolgt von U(VI) und Th(IV). Das unterschiedliche Verhalten von Ionen von Aluminium und Actiniden unterschiedlicher Oxidationsstufe bezüglich ihrer Affinität für die Liganden Silicylsäure und Huminsäure ist mit deren unterschiedlichen Hydrolysefähigkeit korrelierbar. Es gilt allgemein: positiv ionisierte Element-Spezies (z. B. Am bei niedrigem pH, hoher Huminsäure- und geringer Si-Konzentration) binden bevorzugt mit Huminsäure (Humin-kolloiden), hydrolysierte Element-Spezies (z. B. Al bei neutralem bis hohem pH, geringer Huminsäure- und hoher Si-Konzentration) binden bevorzugt mit Silicylsäure. Bekanntlich liegen Actinide unter natürlichen Grundwasser-Bedingungen meist als kationisch-hydrolysierte Spezies vor. Aus diesem Grund werden Actinide in realen Grundwässern, die sowohl HAS- als auch Huminkolloide enthalten, erwartungsgemäß als Misch-Pseudokolloide vorliegen. Letztere besitzen, im Vergleich zu den HAS-Pseudokolloiden einen vergrößerten Stabilitätsbereich.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Folgende Arbeiten innerhalb der Arbeitspakete I, II und III des Fortsetzungsvorhabens sind geplant:

Die Untersuchung der Erfassung der Bedingungen der stabilsten Inkorporation von Actiniden unterschiedlicher Oxidationsstufe in HAS-Kolloiden in Anwesenheit von Huminsäure wird vervollständigt. Insbesondere wird die vermutete Korrelation zwischen den kinetischen und thermodynamischen Parametern (Konditionierungszeit, Elementkonzentration, pH und Temperatur) zur Stabilisierung der Kolloide bzw. Pseudokolloide von Actiniden untersucht. Zu diesem Zweck werden EDTA-Desorptionskinetiken an stabil in HAS-Kolloiden inkorporierten Actiniden bzw. Eigenkolloiden von Actiniden in Anwesenheit von Huminsäure durchgeführt mit dem Ziel, die maximale Actinid-Kolloid Migration für das repräsentative Beispiel Aluminosilicat-Actinid(III, IV, V, VI)-Kolloide in verschiedenen natürlichen Aquifersystemen zu modellieren. Die Ergebnisse werden in Form einer Dissertation, verschiedener Publikationen sowie eines Abschlussberichts zusammengefasst.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

P.J. Panak, M.A. Kim, R. Klenze, J.I. Kim, Th. Fanghänel: "Complexation of Cm(III) with aqueous silicic acid": *Radiochim. Acta*, 93 (2005) 133-139.

M.A. Kim, P.J. Panak, J.I. Yun, A. Priemyshev, J.I. Kim: „Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi, Part III: Colloid Formation from Monosilanol and Polysilanol“; *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 254 (2005) 137-145.

J.I. Yun, M.A. Kim, P.J. Panak, J.I. Kim, Th. Fanghänel: "Formation of aquatic Th(IV) Colloids and Stabilization by interaction with Cm(III)/Eu(III), submitted to *Journal of Physical Chemistry B* 110 (2005) 5416-5422.

D. Breban, P.J. Panak, K. Dardenne, J. Rothe, M.A. Denecke, M.A. Kim, J.I. Kim, Th. Fanghänel: „Interaction of U(VI) with Silica and Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi“: ANKA/FZK Annual Report 2005 (2005).

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*, submitted.

#### *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 6th 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 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 30.06.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Großenkernproben 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

Laboruntersuchungen: Alle geplanten Laborversuche zur Untersuchungen des THM Verhalten des Opalinustonsteins aus dem HE-D Testfeld sind erfolgreich abgeschlossen und ausgewertet.

In-Situ-Messungen: Die In-situ-Messungen wurden bereits im Herbst 2005 abgeschlossen und die Einrichtungen im Versuchsfeld wurden in Abstimmung mit dem Projektmanagement rückgebaut. Teile der Instrumentierung wurden zur Erneuerung und Wiederverwendung aus dem Gebirge zurück gewonnen.

Modellierung: Der Laboraufheizversuch an einem großen Tonkern ( $D/L=260/700$  mm) aus der HE-D Erhitzebohrung wurde mittels des Rechenprogramms CODE-BRIGHT simuliert. Die Modellergebnisse bezüglich Temperatur, Porenwasserdruck und Verformung sind gut vergleichbar mit den an den Messstellen in der Großenprobe erzielten Messergebnissen, so dass von einer weitgehenden Bestätigung der verwendeten THM-Modelle und der aus vorangegangenen Untersuchungen bestimmten Modellparameter ausgegangen werden kann. Die dominierenden Parameterwerte können daher als optimiert angesehen werden. Im Einzelnen wurden folgende Werte bestimmt: Wärmeleitfähigkeit  $1,7 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , thermischer Ausdehnungskoeffizient  $1,7\text{E-}5 \text{ K}^{-1}$  und Permeabilität  $2\text{E-}20 \text{ m}^2$ . Unter Anwendung der gleichen Parameter wurden die THM-Prozesse, die im HE-D In-situ-Aufheizversuch beobachtet wurden, modelliert. Die In-situ-Messergebnisse wurden dabei vom Modell sowohl qualitativ als auch quantitativ weitgehend bestätigt.

Insgesamt haben sich jedoch bei der Auswertung der Messungen und der Interpretation der numerischen Modellierungen Differenzen zwischen den verschiedenen Modellierungsteams ergeben, so dass von der französischen Projektleitung auf dem letzten Projektmeeting eine begrenzte Fortsetzung der wissenschaftlichen Arbeiten im Sinne einer Ursachenforschung vorgeschlagen wurde.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung des Abschlussberichtes

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Zhang, C.L., Rothfuchs, T., Wieczorek, K., Jockwer, N., Wileveau, Y.: Monitoring and Modelling of Responses of the Opalinus Clay to Heating. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(4), 659 -669.

<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 31.12.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 454.485,00 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 (1. Halbjahr 2006) wurden insbesondere Teilleistungen aus AP1 (Verhandlungen mit Verlagen) und AP2 (Erarbeitung von Einzelbeiträgen und Hauptkapiteln) erbracht.

In Ergänzung der neu hinzugekommenen Teilkapitel liegt mittlerweile bereits eine Reihe von Teilkapiteln in überarbeiteter Form vor. In weiteren bilateralen Projektgesprächen wurde darüber hinaus die abgestimmte Basis zur Überarbeitung bzw. Aktualisierung der übrigen Textbeiträge geschaffen.

Sämtliche Dokumente sind weiterhin auf einer gemeinsam zu nutzenden QuickPlace-Kommunikations-Plattform eingestellt. Eine neue, benutzerfreundlichere Version befindet sich derzeit im Teststadium und kann bei Eignung kurzfristig eingesetzt werden.

Zur Verwaltung der Handbuch-spezifischen Literatur-Zitate wurde das Literatur-Datenbankprogramm weitergeführt. Darüber hinaus wurden weitere Kontakte zu externen Fachleuten aufgenommen bzw. fortgesetzt, die im Rahmen des Vorhabens unterstützend mitwirken sollen. Ein Fachverlag hat nach Vorstellung des Vorhabens grundsätzliches Interesse an der Herausgabe des Handbuches geäußert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die weiteren Arbeiten erfolgen i. W. im Rahmen der Arbeitspakete 1 und 2.

Für das 2. Halbjahr 2006 ist vorgesehen, die vereinzelt noch fehlenden Teilkapitel fertig zu stellen. Parallel dazu ist eine erste gesamtredaktionelle Überarbeitung und Anpassung sämtlicher Haupt- und Teilkapitel in Bezug auf Art und Umfang der Darstellung sowie deren Zusammenführung vorgesehen. Darüber hinaus werden Glossar und Literaturverzeichnis weitergeführt und ergänzt.

### **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 31.12.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 475.000,00 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 2005 wurden Teilleistungen aus AP2 und AP3 erbracht. Bisher noch nicht vorliegende Kapitel-Textversionen wurden erstellt und bestehende Kapitel-Textversionen nach Bedarf überarbeitet.

Neben direkten Gesprächen der Autoren zur Abstimmung der Texte fand zusammen mit Autoren des Projektpartners Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH eine redaktionelle Besprechung von bestehenden und neu erstellten Kapitel-Textversionen in Darmstadt statt. Darüber hinaus wurden weitere Besprechungen zur Projektabwicklung zwischen den Projektpartnern GRS und Öko-Institut durchgeführt. Am 7. Juni 2006 wurden zusammen mit der GRS erste Gespräche mit einem potentiellen Verlag zum Druck und der Verlegung des Handbuchs zur Endlagerung geführt.

Die Vorbereitung und Organisation eines Workshops zum Wasserrecht wurde im ersten Halbjahr des Jahres 2006 geleistet. Der Workshop fand am 4. Juli 2006 in Bonn statt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Für das zweite Halbjahr 2006 sind im Wesentlichen redaktionelle Überarbeitungen der Texte zum Handbuch der Endlagerung geplant. Die redaktionelle Überarbeitung der Texte erfolgt in enger Abstimmung zwischen GRS und Öko-Institut. Darüber hinaus sind Arbeiten zur Konkretisierung der Randbedingungen für den Druck 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 gebundenen Radionuklide zu untersuchen und
- c.) die Eignung der Hydrotalkite (nachgewiesene Phasenbestandteile der Korrosionsprodukte von unbestrahlten metallischen Uran/Aluminium-FR-BE) hinsichtlich der Rückhaltung von mobilen Radionukliden 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 Formationswässern möglicher Endlager

AP2: Remobilisierung von Radionukliden aus Korrosionsrückständen

AP3: Sorptions- und Inkorporationsuntersuchungen mit endlagerrelevanten Radionukliden an Hydrotalkiten

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: In Tonporenwasser (Mont-Terri Wasser) sind die ersten Auslaugversuche mit **bestrahltem** U/Al- und  $U_3Si_2$  Brennstoff gestartet worden.  
Die Auslaugversuche mit **unbestrahltem** U/Al- und  $U_3Si_2$ -Brennstoff in Äspö-Wasser wurden beendet, da keine weitere Druckentwicklung (Indiz für eine Korrosion) stattfand. Das ermittelte Korrosionsverhalten beider Brennstofftypen in Äspö-Wasser ist vergleichbar.
- AP2: Die Versuche zur Remobilisierung von den an bzw. in den sekundären Phasen gebundenen Radionukliden durch Variation der geochemischen Bedingungen, sind abgeschlossen.
- AP3: Die in Salzlauge, in Äspö-Wasser und in Mont-Terri-Wasser durchgeführten Inkorporationsversuche sind abgeschlossen. Die Aktiniden Pu, Am und U liegen nahezu quantitativ in den gebildeten sekundären Phasen vor.  
Die Sorptionsuntersuchungen sind für Eu und Am abgeschlossen. Ein ähnliches Verhalten dieser dreiwertigen Elemente konnte aufgezeigt werden. Für das tetravalente Th werden momentan die Adsorptionsisothermen bestimmt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Weitere Auslaugversuche mit **bestrahltem**  $U_3Si_2$ - Brennstoff in Salzlauge (Lauge 2) und in Granitwasser (Äspö-Wasser) sollen im August/September erfolgen. Die bis dahin erzielten Messdaten aus allen Auslaugversuchen sollen im Abschlussbericht vorgestellt werden.  
Die Messdaten aus allen Auslaugversuchen mit **unbestrahltem** U/Al- und  $U_3Si_2$ -Brennstoff werden für den Abschlussbericht zusammengestellt und diskutiert.
- AP2: Auswertung aller analytischen Daten und Zusammenstellung dieser im Abschlussbericht.
- AP 3: Auswertung aller Sorptionsdaten und Zusammenstellung dieser im Abschlussbericht.  
Auswertung aller Inkorporationsdaten und Diskussion im Abschlussbericht.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

K. Ufer, H. Curtius: *Incorporation of the Trivalent Radionuclide Samarium in a Mg-Al-Layered Double Hydroxide*, Proceedings of the Joint Meeting of the Clay Minerals Society and the French, Clay Group, 2006, France, 263.

<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 31.01.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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: Die Entwicklungsarbeiten zur Kopplung von  $r^3t$  mit Phreeqc wurden fortgeführt. Die prinzipielle Möglichkeit der direkten Einbindung von Phreeqc in  $r^3t$  wurde erfolgreich getestet.
- AP2: Es wurde eine dreidimensionale Geometrie für die Modellierung der DR-Experiments erstellt und mit Hilfe dieser Geometrie eine erste Modellierung des DR-Experimentes durchgeführt. Ein besonderes Augenmerk bei der Modellierung liegt dabei auf der Modellierung der anisotropen Diffusion. Es zeigte sich, dass auf Grund der stark unterschiedlichen Rückhalteeigenschaften von nicht-sorbierenden (Tritium) bis stark sorbierenden (Cs) Spurenstoffen unterschiedliche Geometrien und unabhängige Modellierungen für diese Spurenstoffe notwendig sind. Die ersten Ergebnisse der Modellierungen wurden auf einem Meeting am PSI in Villigen (Schweiz) mit denen anderer Modellierergruppen verglichen.
- AP3: Zur Sammlung der Daten für die Sicherheitsanalyse wurden Treffen mit Wissenschaftlern der DBE und der BGR durchgeführt. Die Datensammlung für die beiden zu betrachtenden Standorte in Nord- und Süddeutschland ist zum Berichtszeitpunkt weitgehend abgeschlossen. Die Datenlage ist für beide Standorte als eher schwach einzuschätzen, da keine lokalen Daten vorliegen. Für den Standort in Süddeutschland werden weitgehend Daten der Opalinustonstudie der Nagra übertragen. Die Übertragbarkeit der Daten auf den Standort in Süddeutschland wird jedoch als kritisch eingestuft. Für den Standort in Norddeutschland werden so weit wie möglich vorhandene Daten aus anderen Standorten mit ähnlichen Formationen übertragen. Fehlende Daten werden aus der Literatur abgeschätzt. Die schwache Datenlage unterstreicht den generischen Charakter der durchzuführenden Sicherheitsanalyse, bei der keine Aussage über die Sicherheit der einzelnen Standorte getroffen werden soll. Vielmehr werden die entwickelten Codes getestet und sollen Aussagen über den Einfluss bestimmter sicherheitsrelevanter Parameter gewonnen werden. Erste Testrechnungen mit Hilfe der Langzeitsicherheitsanalytischen Modelle wurden durchgeführt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Abschließen der Entwicklungsarbeiten am Modul CLAYPOS. Im letzten Schritt müssen noch Entwicklungsarbeiten zur Ertüchtigung von CLAYPOS zur Durchführung probabilistischer Rechnungen durchgeführt werden.
- AP2: Fortführung der prognostizierenden Modellierung des Diffusionsexperimentes DR. Die bisher gewonnenen Ergebnisse müssen mit den Ergebnissen anderer Modellierungsgruppen und den ersten experimentellen Resultaten aus dem DR-Experiment verglichen werden. Unterschiede zwischen den Modellierungsgruppen sollen identifiziert und diskutiert werden. Fortführung der Simulation natürlicher Isotopenprofile am Standort Mont Terri. Diese Arbeiten werden im Rahmen der Kofinanzierung des Projektes FUNMIG durchgeführt.
- AP3: Durchführung der langzeitsicherheitsanalytischen Rechnungen mit CLAYPOS und Vergleich der Ergebnisse für den Referenzfall mit Ergebnissen aus einer dreidimensionalen Modellierung mit  $r^3t$ . Durchführung von Parametervariationen mit CLAYPOS zur Untersuchen des Einflusses der sicherheitsrelevanten Parameter.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Vortrag und Paper mit dem Titel „Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen“ auf dem Projektstatusgespräch im Mai 2006 in Karlsruhe.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 187.680,00 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

Die Messungen zur Gasdiffusion an den Messplätzen A und B wurden abgeschlossen und mit einem angepassten Finite-Element-Modell ausgewertet. Die Wiederholungsmessungen zur Gaspermeabilität wurden durchgeführt.

Unter der nach geschnittenen Sohle nach Entfernen der Auflockerungszone (Messplatz A) ergaben sich Gasdiffusionskonstanten von  $10^{-9}$  bis  $10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  und unter der etwa 20 Jahre alten unbehandelten Sohle (Messplatz B) solche von  $10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ . Weiterhin zeigte sich, dass die Diffusionskonstanten an beiden Messplätzen erwartungsgemäß mit dem Abstand zur Sohle abnehmen.

Die Messungen zur Gaspermeabilität unter der nach geschnittenen Sohle, die zwei Monate nach dem Entfernen der Auflockerungszone durchgeführt worden waren, wurden ein Jahr später im Januar 2006 wiederholt. Es zeigt sich insgesamt eine leichte Permeabilitätserrhöhung, mit Maximalwerten unterhalb  $10^{-17} \text{ m}^2$  im unmittelbaren Saumbereich ist die Permeabilität jedoch weiterhin erheblich geringer als in der unbehandelten Sohle, wo Werte in der Größenordnung von  $10^{-15} \text{ m}^2$  erreicht werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Installation der Geoelektrik-Messketten an den Messplätzen A und B

Messungen Laugenausbreitung an den Messplatz A und B.

Installation des Messplatzes C auf der etwa zwei Jahre alten Sohle.

### 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

Die Langzeitversuche zur Verheilung von drei geschädigten Tonproben wurden Anfang 2006 beendet und ausgewertet. Die Versuche wurden in mehreren Phasen beginnend mit der Gasinjektion und nachfolgender Wasserinjektion, Konsolidierung und erneuter Gasinjektion mit Druckerhöhung über insgesamt 1,5 Jahre durchgeführt. Nach der Wasserinjektion und Konsolidierung bei Spannungen von 1,5 – 2,5 MPa wurden sehr geringe Gaspermeabilitäten von ca.  $10^{-21} \text{ m}^2$  an den zuvor geschädigten Proben gemessen. Dieser Wert liegt um 2 bis 5 Größenordnungen niedriger als die vor der Wasserinjektion gemessenen Werte von  $10^{-16} - 10^{-19} \text{ m}^2$ . Dies bedeutet eine deutliche Abdichtung des Tonsteins infolge von Belastungseinwirkung und Aufsättigung. Nach dem Ausbau der Versuche waren die Risse noch deutlich zu sehen, so dass eine mechanische Verheilung der geschädigten Proben unter den Versuchsbedingungen offensichtlich nicht stattgefunden hat.

Ein anderer Versuch an einer weiteren gelochten Tonprobe zur Messung der Gaspermeabilität in Axial- und Radialrichtung wurde ebenfalls abgeschlossen und ausgewertet. Die Gaspermeabilitäten sowohl in Radial- als auch in Axialrichtung nahmen mit Erhöhung der Außenbelastung um einige Größenordnungen deutlich ab. Nach der Wasseraufsättigung wurde ein relativ hoher Gasdurchbruchdruck von ca. 1,5 MPa gemessen. Obwohl die geschädigte Tonprobe nach dem Versuch durch Belastungseinwirkung and Wassersättigung gasundurchlässig geworden ist, konnte, wie bereits oben geschildert, auch hier keine Verheilung des Tonmaterials beobachtet werden.

Zur Vorbereitung der geplanten Hauptversuche an einem großen Tonkern mit den Abmessungen  $D/L = 280/600 \text{ mm}$  wurde ein Test zur Probenahme mittels der von GRS entwickelten Bohranlage im Untertagelabor Mont Terri durchgeführt. Wegen der starken Schichtung des Tonsteins im Testfeld konnten bisher keine Proben mit der erforderlichen Länge von 600 mm gewonnen werden, so dass auf die von ANDRA in Aussicht gestellte Bereitstellung weiterer Kerne im Januar 2007 gewartet werden muss.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Gewinnung von Großenproben von  $D/L = 280/600 \text{ mm}$  im Untertagelabor Bure
- Vorbereitung des großen ALZ-Verheilungsversuchs

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

NF-PRO – Deliverable 4.4.8: Zhang, C.-L., Rothfuchs, T., Dittrich, J.: Long-term EDZ-sealing tests on damaged clay samples – Data report on pre-testing of hollow samples. March 2006.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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.

AP 5.1: Phänomenologische Analyse von Nahfeldprozessen.

AP 5.1.1: 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.

AP 5.1.2: 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.

AP 5.1.3: Teilnahme an Projektworkshops.

AP 5.2: 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 Modellrechnungen zu bestimmten Nahfeldprozessen durchgeführt. Während die Arbeiten der GRS sich vorwiegend auf das Wirtsgestein Salz konzentrierten, wurden von den anderen Projektpartnern ausschließlich Ton- und Granit untersucht. Zu diesen Arbeiten wurden gemäß der Projektplanung Zwischenberichte im Entwurf erstellt (Reports on mass balances and energy flows).

Die Ergebnisse der zeitunabhängigen Massenbilanzabschätzungen (erster Schritt der Modellrechnungen) wurden in Form eines Berichts zusammengestellt und der EC übergeben.

Im zweiten Schritt der Modellrechnungen waren zeitabhängige Rechnungen mit je einem einfachen gekoppelten Modell für ein Bohrloch und eine Einlagerungsstrecke durchzuführen. Dazu wurde das bereits entwickelte Bohrlochmodell in das Nahbereichs-Rechenprogramm LOPOS integriert. Darüber hinaus wurde ein Modell für eine Einlagerungsstrecke im Salz entwickelt. In jedem Zeitschritt werden die Volumina von Eisen, Magnetit, Flüssigkeit und Gas (unter Berücksichtigung der Grubenluft) bilanziert und zur Berechnung des Drucks herangezogen. Die Zuflussphase wird in besonderer Weise berücksichtigt.

Es wurden umfangreiche zeitabhängige Modellrechnungen für einfache Endlagerstrukturen in einer Salzformation, bestehend aus einem Einlagerungsbohrloch oder einer Einlagerungsstrecke, einer Beschickungsstrecke und einem Verschluss, durchgeführt. Dabei wurden vier Szenarien betrachtet. Die Ergebnisse bestätigen und verfeinern die Aussagen der Massenbilanzabschätzungen.

Die Funktionsweise der Modelle und die Testrechnungen wurden intern dokumentiert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Weitere Verfeinerung der gekoppelten numerischen Modelle. 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.

Auswertung der Ergebnisse und Erstellung einer ausführlichen Dokumentation als Projekt-Deliverable.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Projektinterner Bericht:

DELIVERABLE (D-No: 5.1.2): D.-A. BECKER: MASS BALANCES AND FLOWS FOR THE SF/SALT/STEEL/ AND THE SF/CLAY/STEEL CONCEPTS

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

Im Rahmen des Vorhabens „Phase 1“ arbeitet die DBE TECHNOLOGY GmbH an folgenden Arbeitspaketen:

**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.

Im Rahmen des Vorhabens „Phase 2“ arbeitet die DBE TECHNOLOGY GmbH an folgenden Arbeitspaketen

**AP4: Ausführungsplanung:** Das in der Konzeptplanung entwickelte und ausgewählte Gesamtsystem zur Einlagerung von Brennstabkokillen und dessen Komponenten werden in Entwurfsplanungstiefe bearbeitet.

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

**AP6: Versuchsdurchführung:** In einem übertägigen Versuchsstand wird das Gesamtsystem unter realitätsnahen Bedingungen der Einlagerungsvorgang demonstriert und die Zuverlässigkeit überprüft.

**AP7: Versuchsauswertung**

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**AP3:** Der Bericht zur Entwurfsplanung wurde im Entwurf fertig gestellt und dem ESDRED-Projekt-Koordinator übersandt.

Die Ausschreibungsunterlagen für die Ausführungsplanung und Fertigung der Einlagerungsvorrichtung wurden erstellt, durch die Fachabteilungen und die Qualitätssicherung freigegeben und an drei verschiedene Fachfirmen mit der Bitte um ein Angebot versandt. In den Anforderungen zur Ausführungsplanung der Einlagerungsvorrichtung wurden die Ergebnisse einer Betriebsstörungsanalyse für die Endlagerung von BSK 3-Kokillen berücksichtigt. Darin wurden die betrachteten Betriebsstörungen in die Kategorien zulässiger Systemzustand, unzulässiger Systemzustand und Gefahrenzustand eingestuft. Die Auswertung ergab, dass zusätzliche Vorsorgemaßnahmen an Einlagerungsvorrichtung und Bohrlochschleuse hinsichtlich notwendiger leichter Montage und Demontage von Antriebselementen zur Minimierung der Strahlenexposition im Reparaturfall bei Anwesenheit des beladenen Transferbehälters zu realisieren sind. Weiterhin wurden zusätzliche Anforderungen an Überwachungseinrichtungen (positiv schlüssige bzw. redundante oder diversitäre Überwachung) aufgestellt.

Für den Neubau der Komponente „Plateauwagen“ wurde eine Konzeptplanung durchgeführt. Aufgrund des vorgesehenen Transportes der Einlagerungsvorrichtung (67 t Eigengewicht) ist der Plateauwagen wieder mit zwei doppelachsigen Laufwerken konzipiert worden. Die für den ursprünglichen POLLUX-Plateauwagen vorgesehenen Schnittstellen zur Streckentransportlok, zur Förderkorbaufschiebevorrichtung und zur gesicherten Eigenpositionierung bei nicht Eingreifen der Flurfördermitteln werden bei der Neukonstruktion berücksichtigt. Mit der Erstellung der Spezifikation zur Vergabe der Entwurfsplanung wurde begonnen. Die Abstimmungsgespräche zu den Vereinbarungen mit der Industrie hinsichtlich der Finanzierung der Ausführungsplanung und des Baus der Komponente interner Transferbehälter sowie des Baus der Komponenten Einlagerungsvorrichtung, Bohrlochschleuse und Plateauwagen sind weitgehend abgeschlossen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP3:** Nach Abnahme des Berichtes zur Entwurfsplanung durch die EU-Kommission erfolgt der Versand an den Projektträger PTKA-WTE.

**AP4:** Die Spezifikation für die Bohrlochschleuse wird in Abstimmung mit den Anforderungen an den internen Transferbehälter erstellt. Nach Auswertung der Angebote und Freigabe der Mittel soll die Vergabe der Ausführungsplanung „Einlagerungsvorrichtung“ an einen Unterauftragnehmer erfolgen. Des Weiteren wird die Entwurfsplanung „Plateauwagen“ an ein fachlich kompetenten Entwickler vergeben. Mit der Bearbeitung der Ausführungsplanung für den internen Transferbehälter und der Bohrlochschleuse wird nach Abstimmung mit der Industrie verfahren.

### 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

AP 1: Koordination der experimentellen Arbeiten und Probenahme.

AP 2: Darstellung des aktuellen Kenntnisstandes zum gesteinsmechanischen Verhalten von Tongesteinen.

AP 3: Mineralogisch-petrographische und gesteinsphysikalische Charakterisierung des vorliegenden Probenmaterials.

AP 4: Umbau und Erweiterung der bestehenden Prüfeinrichtungen auf die Anforderungen von Tongesteinen.

AP 5: Untersuchungen in der Triaxialapparatur bei erhöhten Manteldrücken.

AP 6: Verformungsversuche im direkten Schergerät zur Bestimmung der Mohr-Coulomb Scherparameter.

AP 7: Umsetzung der gebirgsmechanischen Parameter in Modellrechnungen.

AP 8: Zusammenstellung der Ergebnisse und Berichtserstellung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 5: Bei Tongesteinen ist der Nachweis einer rissinduzierten Volumenzunahme als Indikator für die Bestimmung der Dilatanzgrenze schwierig. Infolge der Überlagerung der Dilatanzentwicklung durch Kompaktionseffekte senkrecht zur Schichtung wird eine Volumenzunahme erst bei relativ hohen Spannungen gemessen, so dass scheinbar Festigkeits- und Dilatanzgrenze zusammenfallen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden Verformungsexperimente für Opalinuston sowohl an Zylinderproben in einer Triaxialzelle mit simultaner Messung der Dilatanz, der Ultraschallgeschwindigkeiten und der Permeabilität, als auch an Würfelproben durchgeführt, die während der Verformung in einer echt dreiaxialen Verformungsapparatur in den drei Raumrichtungen mit  $V_p$  und  $V_s$  ( $0^\circ$  und  $90^\circ$ ) durchschallt wurden. Die Auswertung der Ergebnisse von Proben mit unterschiedlichen Orientierungen zur Schichtung belegt, dass analog zu Salzgesteinen auch im Opalinuston eine sogen. Schädigungsgrenze nachweisbar ist, oberhalb der spannungsinduzierte Mikrorissen auftreten. Aufgrund der räumlich begrenzten Reichweite der Rissbildung findet aber in der extrem feinkörnigen und weichen Tonmatrix offenbar keine Vernetzung der entstandenen Risse statt, so dass die hydraulische Integrität des Gesteins nicht beeinflusst wird. Gleichzeitig nimmt die Effizienz der Kompaktionsprozesse mit steigender Einspannung zu.

AP 6: Die Auswertung der Ergebnisse der bisher 9 durchgeführten Scherversuche an orientierten Schichtflächen belegt, dass die Schichtflächen in Tonsteinen als Schwächezonen eine Schlüsselrolle für das Verständnis des untertägigen Gebirgsverhaltens darstellen. In Abhängigkeit von der wirkenden Normalspannung nimmt zwar mit steigender Normalspannung die Scherfestigkeit zu, die hierbei ermittelten Festigkeitsparameter sind aber deutlich niedriger als die aus konventionellen Triaxialversuchen. Gleichzeitig findet nur bei Normalspannungen  $< 4$  MPa eine Aufgleitung an der entstehenden Trennfläche statt, darüber hinaus dominiert Matrixkompaktion.

Ausgehend von den Laboruntersuchungen wurden die Haft- und Gleitreibungsparameter für das neue Schermodell von Minkley (2005) bestimmt, das die Basis für die geplanten Modellrechnungen für das AP 7 bilden soll.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP 6: Da die Festigkeit der Schichtflächen in Tongesteinen analog zu anderen Gesteinen auch von der Schergeschwindigkeit abhängen kann, werden weitere Scherversuche mit unterschiedlichen Deformationsraten durchgeführt. Ein modifizierter Versuchsaufbau für die gleichzeitige Applikation eines Fluiddruckes während der Scherdeformation an Tonproben ist in der Erprobung.

AP 7: Ausgehend von den im Labor bestimmten Verformungsparametern soll mit der Durchführung numerischer Berechnungen für die im Felslabor angetroffenen Spannungsbedingungen begonnen werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

T. Popp, K. Salzer (2006): Influence of Bedding Planes. (1) Triaxial compression tests with simultaneous monitoring of P- and S-wave velocities, permeability and volumetric strain. (2) Interim report on results of shear tests (Evaluation of 9 tests). NF-PRO RTD4, WP 4.2 - EDZ Initial phase characterization and modeling. Deliv. 4.2.8. Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, 10th February, 2006, 39 pp.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006
<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. Da Probennahmen und Messungen im 1- Jahresrhythmus durchgeführt werden, gelten noch die Ergebnisse des letzten Halbjahresberichtes und der drei Veröffentlichungen aus 2005. Diese Ergebnisse wurden in zwei NF-PRO Workshops im März 2006 in Madrid und im Juni 2006 in Barcelona vorgestellt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Fortführung der Experimente. Probennahme und Messungen der 2-Jahresproben. Mit CIEMAT wurde eine Kooperation vereinbart. CIEMAT wird für GRS Porenwasserextraktionen an kompaktierten Proben nach einer Reaktionszeit von 7 Tagen und 2 Jahren durchführen. Dadurch werden zusätzliche Informationen zur Veränderung der Lösungszusammensetzungen bei hohen Feststoff-Lösungs-Verhältnissen gewonnen, die zunächst nicht zugänglich erschienen.

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

Keine

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

AP 1: Abschließende Laboruntersuchungen zur Materialauswahl, Bestimmung von Materialparametern, Ermittlung geeigneter Einbautechniken für das Dichtmaterial sowie Auslegungs- und Modellrechnungen.

AP 2: 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:** Nach Abschluss der Laboruntersuchungen zur hydro-mechanischen Charakterisierung der Ton/Sand-Mischungen in 2005 wurden zu diesem Arbeitspaket keine weiteren Arbeiten durchgeführt.

**AP2:** Nach Einstellung der Wasserinjektion im Technikumsversuch 1 und Bestimmung des verbleibenden Quelldruckes wurde das Testrohr geöffnet und die Sättigungsverteilung in der Dichtung durch Wassergehaltsbestimmung an den 40 Proben einer Rammsondierung bestimmt. Danach nimmt die Sättigung oberhalb 50 cm Dichtungshöhe zum oberen Auslass hin von Vollsättigung auf etwa 65 % ab. Durch Vergleich der Ergebnisse dieses Versuchs mit denen des zweiten Technikumsversuchs (s. u.) ist zu klären, ob die unvollständige Sättigung auf den frühen Wasserdurchbruch und die damit verbundene Bildung von Randläufigkeiten oder auf eine Unterschätzung der Aufsättigungsdauer in den Modellrechnungen zurückgeführt werden muss.

Im Technikumsversuch 2 (Ton-Sand-Mischung ebenfalls 35/65), der bisher ohne Störung verläuft, ist nach 16 Monaten ebenfalls noch keine vollständige Sättigung erreicht. Es wurde daher bisher auch noch kein Wasseraustritt am oberen Auslass registriert. Ende Juni 2006 wurden noch Injektionsraten von 10 – 20 cm<sup>3</sup>/d gemessen. Insgesamt wurden bisher innerhalb der 15-monatigen Aufsättigungsphase 23 Liter Pearson-Wasser injiziert. In ca. 75 Vol % der Dichtung ist der Porenwasserdruck mittlerweile auf das Niveau des Injektionsdruckes von 1,1 MPa angestiegen. Im oberen Messniveau wird von den Porenwasserdruckaufnehmern noch kein Druckanstieg registriert, jedoch zeigt einer der darüber am Boden des oberen Packers installierten Gesamtdruckaufnehmer einen Druckanstieg auf 0,15 MPa an, was als rein mechanischer Quelldruck interpretiert wird. Aufgrund des bisherigen Versuchsverlaufes werden Wasserdurchbruch und Vollsättigung in diesem Versuch erst Ende 2006/Anfang 2007 erwartet.

Der erste In-situ-Versuch im Mont Terri Untertagelabor wurde Ende Oktober 2005 mit der Bestimmung der Gaspermeabilität des Dichtelements begonnen. Der ermittelte Wert von 3,71E-14 m<sup>2</sup> stimmt sehr gut mit den im Labor und in den beiden Technikumsversuchen ermittelten Messwerten überein. Zur Vermeidung eines vorzeitigen Wasserdurchbruchs wurde die nachfolgende Aufsättigung des Dichtelements bis Februar 2006 mit einem vergleichsweise niedrigen Injektionsdruck von 0,03 MPa begonnen. Ab Mitte Februar wurde der Druck bis Anfang Mai 2006 stufenweise auf 0,4 MPa erhöht und danach auf diesen Wert fest eingestellt. Ende Juni wurden Injektionsraten von 150 – 200 g/d gemessen. Insgesamt wurden seit Oktober 2005 22 Liter Pearson-Wasser injiziert. Seit Mitte April wird ein Ansteigen des am Boden des Bohrlochpackers gemessenen Quelldruckes registriert. Der aktuelle Wert beträgt 0,175 MPa und ist damit sehr gut mit dem im Technikumsversuch 2 registrierten Wert (s. o.) vergleichbar.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung des Technikumsversuchs 2
- Weiterführung In-situ-Versuch 1, Aufbau der In-situ-Versuche 2 und 3

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Clay/Sand-Mixtures as Sealing Materials in Clay Host Rock Repositories – The SB-Project: Kapitel 5 in: ESDRED-Project, Deliverable 2.2 of Module 1-Work Package 2, Basic Design of Several Buffer Configurations, 11 January 2006

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

AP 1: Darstellung des aktuellen Kenntnisstandes zum Verhalten von hochkompaktierten Salzgrus.

AP 2: Untersuchungen in der Triaxialapparatur bei erhöhtem Manteldruck.

AP 3: Untersuchungen mit dem Schergerät zur Bestimmung der Scherparameter an Kontaktflächen zwischen Formsteinen aus hochkompaktiertem Salzgrus.

AP 4: Untersuchungen mit dem Schergerät zur Bestimmung der Scherparameter an Kontaktflächen zwischen Formsteinen aus hochkompaktiertem Salzgrus und einer Steinsalzoberfläche.

AP 5: Durchführung von Langzeit-Kriechversuchen mit verschiedenen Manteldrücken.

AP 6: Umsetzung der gewonnenen Materialparameter in ein geeignetes Stoffmodell und Validierung durch Nachrechnung der Laborversuche.

AP 7: Durchführung von Modellrechnungen zur Bewertung von Verfüllmaßnahmen.

AP 8: Zusammenstellung der Ergebnisse und Berichtserstellung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 5: Abschluss der Langzeit-Kriechversuche über einen Zeitraum von 12 Monaten mit verschiedenen Manteldrücken und unterschiedlichen Wassergehalten an zylindrischen Prüfkörpern aus hochkompaktiertem Salzgrus. Der Einfluss des Wassergehaltes auf die Kompaktionsraten wird durch die hydrostatischen Kriechversuche klar gezeigt und quantifiziert. Bereits eine geringe Erhöhung der Feuchtigkeit führt zu einem starken Anwachsen der Kompaktionsraten. Die Vermessung der Prüfkörperform nach einer Zwischenentlastung und nach Abschluss der Kriechversuche hat gezeigt, dass infolge der Reibungskontaktbedingungen an den Stirnflächen der Prüfkörper die volumetrische Prüfkörperkompaktion kleiner als das dreifache der axialen Prüfkörperstauchung ist. Unter Berücksichtigung dieser Korrektur strebt die Restporosität der angefeuchteten Prüfkörper nach einer Versuchszeit von 12 Monaten gegen 1 %.

An den Labor-trockenen Prüfkörpern wurde mit einer Temperaturerhöhung der Temperatureinfluss auf das Kompaktionskriechen ermittelt. Der Temperatureinfluss lässt sich gut mit dem ARRHENIUS-Ansatz beschreiben, wobei die Aktivierungsenthalpie einen Wert von  $Q = 39 \text{ kJ/mol}$  besitzt.

An einer laugengesättigten Probe wurden Gaspermeabilitätsmessungen durchgeführt, die eine Bestimmung des kapillaren Sperrdrucks für sinkende Porositäten ermöglichten.

Die Ergebnisse der Langzeitkriechversuche wurden im Komplex mit den triaxialen Druckversuchen, die gleichzeitig der Ermittlung der hydraulischen Eigenschaften in Abhängigkeit vom Kompaktionsgrad dienten, in einem Zwischenbericht zusammengefasst und diskutiert.

AP 6: 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 FLAC<sup>3D</sup> vor, so dass mit diesem Programmcode und Stoffgesetz umfangreiche räumlich Berechnung zur Modellierung von Prüfkörpern durchgeführt wurden die sehr zeitaufwendig sind. Bisher konnte eine gute Übereinstimmung der Rechnungen mit den Langzeit-Kriechversuchen für Labor-trockene Bedingungen erzielt werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP 6: Abschluss der Stoffgesetzauswahl zur Beschreibung des beobachteten Materialverhaltens. Anpassung bekannter Stoffgesetze.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Popp, T., Böhnelt, H. and Klaus Salzer (2006): Investigation of the Mechanical Behaviour of Pre-compacted Crushed Salt in Contact to the Host Rock. Report on long-term creep tests and gas injection tests on moistened salt bricks during compaction. D 3.5.5. Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, 28. February, 2006

<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 30.11.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 115.158,00 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. Nach einem halben Jahr Ventilation hat sich ein entsättigter Bereich von 20 bis 50 cm Ausdehnung ins Gebirge herausgebildet. Dieses Ergebnis bestätigt die Messungen der ersten Entsättigungsphase. Im weiteren Verlauf der Trocknungsphase verändert sich die Ausdehnung des beeinflussten Bereiches nicht wesentlich; allerdings werden niedrigere Sättigungswerte (unter 50 %) erreicht.

*Laboruntersuchungen:* Nach einem Vorversuch wurde der vorgesehene Laborventilationsversuch an einem großen Tonkern aus Bure Ende Februar 2006 gestartet. Dieser Prüfkörper hat einen Durchmesser von 280 mm und eine Länge von 700 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 %. In der ersten Phase wurde der gelochte Prüfkörper mit einem Außendruck von 10 MPa ohne Ventilation belastet. Dabei wurden die Axial-, Radial- und Volumenverformung sowie die Bohrungskonvergenz gemessen. Nach einem Monat wurde diese Versuchphase durch einen Stromausfall unterbrochen. Danach wurde die Probe bei gleicher Belastung durch Zuleitung von Wasserdampf in die Zentralbohrung bei einer relativen Feuchte von 95 % über einen weiteren Monat befeuchtet. Es schließt sich eine Trocknungsphase von einem Monat an. Die Auswertung wird nach Versuchsende durchgeführt.

Parallel zur Ventilation des Großkerns wird die Änderung von Wassergehalt und Axialverformung auch an kleinen Proben aus der Zentralbohrung und aus dem VE-Testfeld gemessen. Bei der erhöhten Luftfeuchtigkeit wurde eine ständige Wasserzunahme und auch eine leichte Quellung der Proben beobachtet. Zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Saugspannung und Wassergehalt wurden so genannte Exikkatorversuche an kleinen Tonproben aus dem Untertagelabor Bure und aus Mt. Terri gestartet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der geoelektrischen Feldmessungen bis Mitte 2007, da die Entsättigungsphase bis Ende August 2006 ausgedehnt wird und die anschließende Wiederaufsättigung beobachtet werden soll
- Entnahme von großen Tonkernen aus Mont Terri für Laborversuche
- Weiterführung und Auswertung des großen Ventilationsversuchs im Labor bzw. der begleitenden Versuche
- Modellierung des großen Ventilationsversuchs

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Klaus Wieczorek, Tilmann Rothfuchs: Einsatz und Weiterentwicklung geophysikalischer Mess- und Überwachungsmethoden in Untertagelabors für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Proc. Fachsymposium "Messen in der Geotechnik", 23.-24. Februar 2006, Technische Universität Braunschweig.

<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 31.03.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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) Um das Ausmaß der Änderungen der thermodynamischen Größen durch Änderung der Gleichgewichtsbedingungen für die Komplexbildung von Huminstoffen (HS) mit dreiwertigen Lanthanoidionen ( $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ ) abschätzen zu können, wurde mittels stationärer Fluoreszenzspektroskopie die Abnahme der HS-Fluoreszenz einerseits und nach Möglichkeit ( $\text{Nd}^{3+}$  luminesziert nicht) die Zunahme der Lanthanoidlumineszenz bei einer höheren Temperatur  $40^\circ\text{C}$  gegenüber  $25^\circ\text{C}$  (Raumtemperatur) und bei höherer Ionenstärke  $I = 0.1\text{ M}$  sowohl bei  $25^\circ\text{C}$  als auch bei  $40^\circ\text{C}$  bestimmt.

(AP2) Bei den Messungen zur Bestimmung der Abstände zwischen verschiedenen Metallzentren unter Ausnutzung des Interlanthanid-Energietransfer durch indirekte Anregung des Europiums über den Huminstoff wurde festgestellt, dass sich die zeitliche Abnahme der Europiumlumineszenz nach Laseranregung mit einer biexponentiellen Kinetik beschreiben lässt. Das Verhältnis der Übergänge bei  $592\text{ nm}$  ( $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$ ) und bei  $615\text{ nm}$  ( $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ ) wird oft herangezogen, um Aussagen über eine Veränderung in der ersten Koordinationssphäre des

Europiums zu treffen, da der  $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ -Übergang von elektronischer Natur ist, wirken sich Änderungen in der Geometrie und Ladung der Liganden auf die Intensität des Übergangs aus, während die Intensität des  $^5D_0 \rightarrow ^7F_1$ -Übergangs davon unbeeinflusst bleibt. Dieses Verhältnis kann auch für die Lebenszeitmessungen bestimmt werden. Erwartungsgemäß sollte sich ein konstantes Verhältnis ergeben, dass dem aus den stationären Messungen gleich ist. Es zeigt sich jedoch, dass das zeitabhängige Intensitätsverhältnis für Komplexe mit Huminstoffen keinesfalls konstant ist, sondern sich innerhalb der ersten 250  $\mu\text{s}$  bis 400  $\mu\text{s}$  ändert und sich dann erst auf ein konstantes Niveau einstellt. Dieses Verhalten sollte nun mit den Modellliganden nachempfunden werden. Dazu wurden verschiedene 1:1-Komplexe von Europium mit unterschiedlichen Liganden bei  $\text{pH}$  5 hergestellt und die Lumineszenzabklingzeiten für die beiden interessierenden Europiumübergänge bestimmt. Es zeigte sich allerdings, dass nicht alle ausgewählten Liganden für die indirekte Anregung eigenen. Es konnten jedoch die *p*- und *m*-Hydroxybenzoesäure, die Phthalsäure und die 2,2'-Biphenyl-dicarbonsäure (Diphensäure) als geeignete Modellsubstanzen gefunden werden. Bei indirekter Anregung zeigt sich für die beiden Hydroxybenzoesäuren keine Zeitabhängigkeit des Intensitätsverhältnisses. Die Messungen mit der Diphensäure deuten auf eine Zeitabhängigkeit des Intensitätsverhältnisses hin, für eine Quantifizierung sind jedoch noch weitere Messungen Voraussetzung.

(AP3) Die Untersuchung der Kinetik der Komplexbildung mit Modellsubstanzen ist zugunsten der Untersuchungen im AP2 zeitlich auf die Jahresmitte und zweite Jahreshälfte verschoben wurden. Solange keine ausreichende Kenntnis der Thermodynamik der Komplexbildung besteht, ist es schwierig fundierte Aussagen über die Kinetik der Assoziation von Lanthanoiden und Huminstoffen zu machen.

(AP4) Anisotropieuntersuchungen der intrinsischen Huminstofffluoreszenz wurden durchgeführt. Die Rotationskorrelationszeiten  $f$  wurden in Ab- und Anwesenheit von Europium bestimmt. Als zusätzlicher Parameter wurde die Temperatur variiert (10 K < T < 60 K). In Anwesenheit von Europium ist eine Abnahme von  $f$  zu beobachten, was auf eine Verminderung des Rotationsvolumens durch Metallkomplexierung hindeutet. Zu beachten ist allerdings, dass die bestimmten  $f$ -Werte außerordentlich klein sind. Daher muss der mögliche Beitrag eines Energietransfers zwischen verschiedenen chromophoren Gruppen der HS in die Überlegungen zur Interpretation der Ergebnisse einbezogen werden. Untersuchungen dazu werden durchgeführt.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

(AP1) Die abgeschlossenen Experimente zum Einfluss der Temperatur und der Ionenstärke auf die Komplexbildungskonstante werden im nächsten Projektabschnitt ausgewertet und mit den bereits bekannten (Literatur und aus eigenen Arbeiten) verglichen. Aus der Temperaturabhängigkeit der Komplexbildungskonstante bei 25° C und 40° C kann eine erste Abschätzung auf thermodynamische Größen wie Bildungsenthalpien und -entropien der Komplexbildung erfolgen. Abhängig vom Einfluss der Temperatur und der Ionenstärke können weitere Experimente festgelegt werden, die in Richtung anderer Temperaturen und anderer Ionenstärken gehen.

(AP2) Bei der Internationalen Huminstoffgesellschaft (IHSS) wurden verschiedene Fulvinsäuren bestellt, mit denen es möglich sein sollte, die Datengrundlage für die Bestimmung der Abstände von Bindungsplätzen in Fulvinsäuren zu erweitern. Dazu sind die Fulvinsäuren erst einmal grundlegend spektroskopisch zu charakterisieren. Weiterhin ist das spektroskopische Verhalten des komplexierten Donors in Abhängigkeit der Donorkonzentration zu untersuchen.

(AP3) Die fluoreszenz- und lumineszenzspektroskopischen Messungen von  $\text{Eu}^{3+}$ -Huminstoff- und  $\text{Tb}^{3+}$ -Huminstoff-Komplexen in unterschiedlichen Viskositäten zeigten, dass es zur Komplexbildung des Lanthanoid-Ions durch das Lösungsmittel kommt. Nach Klärung dieses Problems wird mit den Messungen zur Viskositätsabhängigkeit der Komplexbildung fortgefahren. Zusätzlich sollen mit den neu hinzugekommenen Fulvinsäuren *stopped-flow*-Untersuchungen durchgeführt werden, um die bisher festgestellten Trends bestätigen zu können.

(AP4) Im nächsten Halbjahr sollen die vergleichenden Messungen in  $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{D}_2\text{O}$  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 Lanthanoiden.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Sascha Eidner, Bettina Marmodée, Philipp Primus und Michael U. Kumke, *Intramolekulare Energietransferprozesse in Europium-Phenylcarbonsäure-Komplexen*, Bunsentagung, 26. Mai 2006, Erlangen

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, Manuskript in Vorbereitung.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 dem Datenmaterial zur Hydrogeologie der Insel Langeoog des Institutes für Umweltgeologie der Technischen Universität Braunschweig (Prof. Wolff) wurden Strömungsfelder berechnet. Unter Verwendung der berechneten Geschwindigkeitsfelder wurden Transportmodelle erstellt und damit den Transport von  $\text{Cl}^-$  simuliert. Da die Messdaten des Institutes für Umweltgeologie der Technischen Universität Braunschweig mit geophysikalischen Methoden ermittelt wurden und somit keine allzu große Genauigkeit erwartet werden kann, betrachten wir die Übereinstimmung mit den berechneten Werten als hinreichend gut. Die Form der Süßwasserlinse hängt im Wesentlichen von den hydrogeologischen Gegebenheiten ab, für deren genaue Modellierung die Datenlage nicht ausreichend ist. Der Vergleich der  $\text{Cl}^-$ -Konzentrationen aus einer Dichteströmungsberechnung mit  $d^3f$  und aus einer Transportrechnung mit  $r^3t$  stimmen bis auf Randeffekte zufrieden stellend überein.

Die Modellierung des Zinktransports in Cape Cod, USA wurde auf dreidimensionale Modelle erweitert. Ebenso wie beim 2D-Vertikalmodell wurden für die Strömungsberechnung eine horizontale Parallelströmung und die Grundwasserneubildung überlagert. Für dieses Strömungsfeld wurde der gleichzeitige Transport von Zink und Protonen modelliert. Analog zum zweidimensionalen Modell wurden die Randbedingungen für Zink und Protonen der Literatur entnommen. Unter Berücksichtigung einer vom pH-Wert (Protonenkonzentration) abhängigen Retardierung des Zinktransports konnte die bei Cape Cod gemessene zwei-dimensionale Zinkverteilung vom Modell qualitativ wiedergegeben werden.

Die Daten des Instituts für Chemie und Dynamik der Geosphäre, Institut Agrosphäre des Forschungszentrums Jülich zur Beschreibung des hydraulischen Durchlässigkeitsfeldes für das Testfeld Krauthausen wurden gesichtet. Es wurde begonnen ein stochastisches Modell aufzustellen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 192.447,00 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

**AP 1:** Die Messungen im Streckenversatz in Sektion I und II wurden weitergeführt. Der bisherige Trend (Resistivitätserniedrigung und Vergleichmäßigung durch Wasseraufnahme) setzte sich fort. 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. Gegenüber dem letzten Halbjahr ist aber immer noch eine leichte Verringerung und Vergleichmäßigung der Resistivitätsverteilung erkennbar.

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 wurde die erwartete Verringerung der Resistivität mit der Wasseraufnahme festgestellt. Allerdings sind seit Ende 2005 zeitlich versetzt mehrere Elektroden ausgefallen, so dass inzwischen eine tomografische Auswertung der Messungen nicht mehr möglich ist. Aus der Entwicklung der Einspeiseströme bei den intakten Elektroden ist jedoch ableitbar, dass der Buffer nach wie vor Wasser aufnimmt. Die Gründe für den Elektrodenausfall sind unbekannt, möglicherweise handelt es sich um Korrosionseffekte.

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).

**AP 2:** Der Versuchsaufbau zur Simulation der Versatzaufsättigung mit begleitender Geoelektrik wurde komplettiert. Allerdings musste die Elektrodenabdichtung überarbeitet werden, so dass erst jetzt mit den Tests begonnen werden kann.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Weiterführung der In-situ-Messungen

AP 2: Durchführung und Auswertung des Aufsättigungsversuchs

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Klaus Wieczorek, Tilmann Rothfuchs: Einsatz und Weiterentwicklung geophysikalischer Mess- und Überwachungsmethoden in Untertagelabors für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Fachsymposium "Messen in der Geotechnik", 23.-24. Februar 2006, Technische Universität Braunschweig.

Tilmann Rothfuchs: Geo-electric monitoring. Appendix 9 in: Reza Goudarzi, Lars-Erik Johannesson: Prototype Repository – Sensors data report (Period 010917-051201), Report No: 14, International Progress Report IPR-06-8, Svensk Kärnbränslehantering AB, December 2005.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.224.317,00 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 RWMC-Meeting in Paris.
- Bearbeitung der Fragebögen zu den Initiativen AMIGO und INTESC der Arbeitsgruppe IGSC. Abstimmung der Inhalte mit BGR und BfS.

- Mitarbeit in der NEA-Arbeitsgruppe „Timing of high-level waste geological disposal“. Teilnahme am 2. Arbeitstreffen in Paris und Zusammenstellung von Informationen über die Situation in Deutschland bezüglich der angestrebten Inbetriebnahme eines Endlagers für HAW. Diese finden Eingang in den für Ende 2006 vorgesehenen Abschlussbericht der NEA.
- Mitarbeit in der neu gegründeten Arbeitsgruppe „Leitlinie Langzeitsicherheit“.
- Teilnahme am Abschlussworkshop des Verbundprojekts "Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer".
- Verfolgung der Arbeiten in Arbeitskomponente RTDC6 im EU-Projekt FUNMIG zur Aufbereitung der Ergebnisse für Langzeitsicherheitsanalysen. Teilnahme am Arbeitsgespräch in Wettingen.
- Sichtung von aktuellen Studien anderer Länder und Zusammenstellung der einzelnen Elemente des Safety Case.
- Fertigstellung des Berichts zur Wiederaufsättigung von kompaktiertem Bentonit und Teilnahme am Meeting der EBS-Task-Force in Äspö.

#### TA 2:

- Weiterführung der Arbeiten zu Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf gebirgsmechanische, hydrogeologische und hydrochemische Verhältnisse im Fernfeld eines Endlagers im Salz. Dokumentation der FEPs für verschiedene Klimazustände.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### TA 1:

- Teilnahme am jährlichen IGSC-Meeting in Paris.
- Weitere Mitarbeit an der Erarbeitung der Leitlinie Langzeitsicherheit.
- Weitere Zuarbeit für die Erstellung der Statusberichte zu den Initiativen AMIGO und INTESC der Arbeitsgruppe IGSC.
- 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.
- Zusammenstellung von Elementen, die für den Safety Case eines potentiellen deutschen Endlagers relevant sind.
- 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.
- Teilnahme am IAH-Kongress zum Thema Hydrogeologie / Tiefengrundwässer in Peking mit Gesprächen mit chinesischen Vertretern zur Endlagerung radioaktiver Abfälle.

#### TA 2:

- Diskussion der Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf Prozesse in der Biosphäre und Entwicklung konzeptueller Modelle für verschiedene Klimazustände.
- Vorbereitende Arbeiten zur Erstellung eines nicht-isothermen Aufsättigungsmodells für Bentonit und Vorstellung erster Ergebnisse auf dem nächsten Meeting der EBS Task Force.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Kröhn, K.P.: Further investigations confirming the dominance of water vapour transport during the re-saturation of compacted bentonite. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH GRS-222, May 2006. in press.

<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 Barrieresystems 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Barrieresystems 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 Mehrbarrierensystems 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 soll durch rechnerische Ermittlung der maximal zulässigen Scherverformungen auf Klüften erfolgen, bei der die plastischen Verformungen der technischen Barriere bestehend aus Bentonit, heat-spreader und austenitischem Stahlbehälter die zulässigen Werte nicht überschreiten. Die ersten 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 einem Fall wird davon ausgegangen, dass die Elementverzerrungen im Bereich des Behälters klein sind auch bei größeren Kluftverschiebungen, da der Behälter sehr steif ist. Bei diesem Modell ergeben sich zwar starke Elementverzerrungen im Außenbereich der Bohrung, die aber hingenommen werden, da die Auswertung der Ergebnisse sich auf den Bereich des Behälters beschränkt, wo die Verformungen gering genug sind. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde in einem zweiten Schritt die Anfangsvernetzung so weit entgegengesetzt verzerrt (pre-deformed mesh), dass auch im Außenbereich der Bohrung eine Auswertung erfolgen kann und somit das Verhalten des Bentonit mit betrachtet werden kann. Der Nachteil dieser Methode ist, dass die Vorverzerrungen manuell vorgenommen werden müssen, was sehr aufwendig ist, insbesondere wenn verschiedene Geometrien bzw. verschiedene Einfallswinkel von Klüften betrachtet werden sollen. Um den Aufwand in Grenzen zu halten, wurden in Anlehnung an tatsächlich vorhandene Kluftgeometrien in Krasnojarsk drei verschiedene Einfallswinkel betrachtet ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $80^\circ$ ). Erste Ergebnisse zeigen, dass beide Modelle im Bereich der Behälter zu vergleichbaren Aussagen führen und dass eine Scherung bei  $30^\circ$  ungünstiger ist als im horizontalen Fall.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten mit den beiden oben vorgestellten Modellen werden fortgeführt und es wird noch der Fall der steil stehenden Klüfte ( $80^\circ$ ) betrachtet.

Neben der bisherigen Betrachtung eines komplett gefüllten Behälters werden auch Berechnungen mit einer (ggf. technisch bedingten) 80 %-tigen Teilbefüllung gerechnet. Hier sollen zunächst Vorabschätzungen zeigen, in wie weit auslegungsrelevante Bereiche im Deckelbereich existieren. Ggf. müssen daraus Anforderungen an die Befüllung der Behälter abgeleitet werden.

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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

AP 3: 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 auf Wunsch der Gutachter mehrmals überarbeitet.

Die Erweiterung des Nahfeldmodells GRAPOS für Endlager im Granit wurde durchgeführt und intensiv getestet.

Das für die Modellierung des Gebietes Itatskij eingesetzte numerische Modell FEFLOW wurde um Radionuklidzerfallsketten und um elementspezifische Sorption erweitert. Die Erweiterungen von FEFLOW sind von der Fa. Wasy durchgeführt worden. Nach anfänglichen Schwierigkeiten scheinen die jüngsten Testrechnungen jetzt zufrieden stellende Ergebnisse zu liefern.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt. Da in nächster Zeit keine Daten von den russischen Kollegen zur Verfügung gestellt werden können, wird statt einem Standortmodell ein generisches Modell erzeugt werden, in dem die fehlenden Daten durch Literaturdaten ersetzt werden.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- Beginn Isolierung von Bioligandfraktionen von *Pseudomonas fluorescense* in Göteborg ( Anna Johnsson, Göteborg University, Department of Cell and Molecular Biology, Microbiology), Variation und Optimierung der Isolierung und Anreicherung der Pyoverdine (es resultieren 3 Bioligandfraktionen)
- Arbeitsbesuch von Anna Johnsson (Göteborg University ) vom 27.02. bis 08.03.06 im FZR: spektroskopische Charakterisierung der Bioligandfraktion 1+2 (BL1+2) (UV-vis, fs-TRLFS, IR), Wechselwirkung von U(VI) mit BL1 und BL2 mittels UV-vis Spektroskopie (Variation: pH und Uranylkonzentration) untersucht
- Teilnahme an 15th Radiochemical Conference, 23-28 April 2006 in Mariánské Lázně, Czech Republic mit Vortrag: *Complex formation of curium(III) with the amino acids L2-Aminobutyric acid and L-Threonine and the corresponding phosphate ester O-Phospho-L-Threonine*
- Fortsetzung der UV-vis spektroskopischen Untersuchungen zur Uranylkomplexierung mit den Modellliganden Salicylhydroxamsäure (SHA), Benzohydroxamsäure (BHA), Benzoesäure (BA) Desferrioxamin B (DFB) und 6-Hydroxychinolin (6HQ): Variation Uranylkonzentration, Ligandkonzentration und pH, Erarbeitung eines Manuskriptes der Ergebnisse mit SHA, BHA und BA
- Beginn der Untersuchungen zur Cm(III)-Komplexierung mit Lipopolysaccharid
- Literaturstudium zu relevanten Bioliganden und deren Wechselwirkung mit Actiniden

#### Ergebnisse, Teilziel 2 (AP2-AP4):

- Aufklärung der Komplexbildung von U(VI) mit den Modellen SHA, BHA, BA und DFB mittels UV-vis Spektroskopie, Protonierungsgleichgewichte der Modelle charakterisiert, Komplexbildungskonstanten mit U(VI) ermittelt und spektroskopische Eigenschaften der Liganden und der Komplexe (z. B. Einzelkomponentenspektren, Extinktionskoeffizienten) bestimmt, für 6HQ ist UV-vis ungeeignet zur Bestimmung von U(VI)-Stabilitätskonstanten

#### Ergebnisse, Teilziel 3 (AP5-AP7):

- Aufklärung der Wechselwirkung von U(VI) mit BL1 und BL2 mittels UV-vis auf Grundlage der Änderung der Absorptionsbanden der Pyoverdinfraction im Wellenlängenbereich zwischen 250 nm und 500 nm bei Anwesenheit von U(VI), Stabilitätskonstanten und spektroskopische Eigenschaften der gebildeten Spezies mit und ohne U(VI) bestimmt, erste Ergebnisse zeigen eine starke Neigung der Pyoverdinfraction das U(VI) zu binden, geringe Unterschiede zwischen BL1 und BL2

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der Arbeiten zur Isolierung und Charakterisierung der natürlichen Bioliganden isoliert von *Pseudomonaden* in Göteborg
- Fortführung der Literaturrecherche und deren Auswertung
- Bearbeitung der Manuskripte a) *Complex formation of curium(III) with the amino acids L-Threonine and the corresponding phosphate ester O-Phospho-L-Threonine*, b) *Complex formation of curium(III) with the amino acid L2-Aminobutyric acid*, und b) *Complexation of uranium(VI) with aromatic acids in aqueous solution – A comparison of hydroxamic acids and benzoic acid*
- Auswertung der IR und fs-TRLFS Messungen von BL1 und BL2
- Fortsetzung der Komplexierungsuntersuchungen von U(VI) mit den Pyoverdinfractionen mittels UV-vis und erste Messungen mit fs-TRLFS
- Erste Arbeiten zur Komplexierung der Modelle Lipopolysaccharid (LPS) und Peptidoglykan mit U(VI): UV-vis, TRLFS
- Fortsetzung der Komplexierungsuntersuchungen von U(VI) mit den Modellsystemen (SHA, BHA, BA, DFB und 6HQ) mittels TRLFS
- Erarbeitung eines Manuskriptes zur Wechselwirkung von U(VI) mit Pyoverdinfractionen mittels UV-vis
- 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 02E 9551) 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: Mittels einer In-situ-Sonde wurden Eh- und pH-Werte in den Grundwässern der für Kolloidmessungen verwendeten Bohrungen bestimmt. In fast allen Messstellen wurde eine Übereinstimmung zwischen den von GRS und INE gewonnenen Eh- und pH-Werten gefunden und damit die von INE neu entwickelte Messmethode für ungestörte Bedingungen überprüft und abgesichert.

Zur Messung von Kolloiden und wichtigen geochemischen Parametern in natürlichen Grundwässern wurde ein Fortschrittsbericht angefertigt.

AS2: An Proben aus den tertiären uranreichen Horizonten wurden sequentielle Extraktionsmethoden (NRI) weiterentwickelt und Desorptionmessungen von der Karls-Universität (Prag) sowie U(IV)/U(VI)-Bestimmungen von der Universität Helsinki durchgeführt. Neue  $\mu$ -spektroskopische Messungen des FZK-INE bestätigen, dass FeAsS-Schichten an Pyrit-Oberflächen eine wichtige Rolle bei der Reduktion von Uran gespielt haben.

Über die Anwendung innovativer Methoden zur Analyse immobiler Phasen von Uran und anderen Elementen wurde ein Fortschrittsbericht erstellt.

AS3: Zur Überprüfung des Einflusses mikrobieller Reaktionen wurden Isotopenmessungen von  $^{34}\text{S}$  in gelöstem Sulfat und  $^{14}\text{C}$  in DOC in ausgewählten Grundwässern durchgeführt. Die neuen Ergebnisse wurden zusammen mit allen aktuellen Daten für die Charakterisierung der hydrogeologischen und geochemischen Bedingungen am Standort zusammengefasst.

Die gegenüber Infiltrationswässern deutlich höheren  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte in gelöstem Sulfat in Wässern der tertiären Sedimente zeigen deutlich, dass in diesen Sedimenten eine mikrobielle Sulfatreduktion stattfindet. Die  $^{14}\text{C}$ -Werte in gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) deuten ebenfalls darauf hin, dass es zu einer Umsetzung der tertiären Lignite unter Freisetzung von DOC kommt. Ein Artefakt in den Infiltrationswässern des westlichen Modellgebiets ist allerdings noch nicht verstanden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AS1: Durchführung von Kolloidmessungen an Wässern anderer Standorte und Vergleich der geochemischen Randbedingungen und Kolloidkonzentrationen mit denen vom Standort Ruprechtov

AS2: Anwendung des optimierten Extraktionsverfahrens an ausgewählten Proben und Auswertung der mit den unterschiedlichen Methoden erzielten Ergebnisse zur Quantifizierung der Uranphasen.

AS3: Anwendung der inversen Modellierung zur Beschreibung der Kohlenstoffisotop-Signaturen in verschiedenen Grundwässern und Identifizierung der Reaktionen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Forschungsge- lände, 85748 Garching		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 10005</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Auswertung von Modellierungsansätzen zum Gastransport in Tongesteinen (GASTON)		
<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 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 146.550,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Müller	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, die vorhandenen Kenntnisse über Modellierungsansätze zum Fluidtransport (Gas, Wasser) zusammenzuführen und anhand von Auswahlkriterien geeignete physikalische und numerische Modelle für den Fluidtransport in Tonformationen zu ermitteln sowie Hinweise auf Defizite und Möglichkeiten zu deren Beseitigung zu erarbeiten.

Die Arbeiten gliedern sich in folgende Einzelschritte:

- Charakterisierung der relevanten Tone/Tongesteine als Endlagerwirtsgestein
- Hydromechanische Eigenschaften und resultierende physikalische Modellvorstellungen
- Auswertung existierender numerischer Modellierungsansätze für ein- und mehrphasige Transportvorgänge in Ton/Tongestein in Abhängigkeit von Gasbildung, Druck und Zeit
- Vergleich des Wissenstandes zum Fluidtransport in verschiedenen Wirtsgesteinen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Charakterisierung der Tonformationen zur Endlagerung:  
Petrophysikalische Eigenschaften, Charakterisierung der Tonformationen als Rissnetz/  
klüftiges Medium, mechanische Eigenschaften, Szenarien der Gasbildung, Bentonit  
als geotechnische Barriere
- AP2: Hydro-mechanische Eigenschaften der Tonformationen:  
Dilatanz, mechanisches Verhalten in und nach Dilatanzgrenze, Wärmeeffekte, Gas-  
druck, physikalische Modellvorstellungen
- AP3: Numerische Modellierung der Transportvorgänge:  
Numerische Umsetzungen, Liste der existierenden kommerziellen und nicht-  
kommerziellen Software, Kriterienkatalog nach Anwendungsbereich, Grad der Quali-  
fizierung, rechnerische Anwendungen mit generischen Daten, vergleichende Bewer-  
tung, Vorteile-Nachteile, Defizite, Verbesserungsvorschläge
- AP4: Vergleich des Wissenstandes:  
Gegenüberstellung Ton/Tongestein - anderer Wirtsgesteine, Zusammenfassung des  
Wissenstandes zur Modellierung des Fluid- und Gastransports in anderen Wirtgestei-  
nen, vergleichende Bewertung
- AP5: Dokumentation

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

Die geplanten Arbeiten wurden abgeschlossen.

Die Kristallstruktur der Tonminerale und das Geoverhalten der Tongesteine in sedimentären Milieus wurden zusammengefasst. Als relevante hydromechanische Prozesse der Tonformationen wurden Dilatanz, mechanisches Verhalten an und nach der Dilatanzgrenze, Effekte des Gasdrucks und Wärmeeffekte untersucht und mit Ergebnissen aus Labor- und In-situ-Messungen verglichen. Die wesentlichen Einflussparameter sind dabei der entstehende deviatorische Druck mit Hohlraumbildung, Konvergenz, Versatzkompaktion, Dilatanz-Spannungs-Beziehung, Zeiteffekte auf den Spannungszustand, sowie der Effekt des Porendrucks auf die Auflockerung. Sie wurden charakterisiert und bewertet.

Die hydraulischen Eigenschaften der Tonformationen wurden unter mikroskopischen und makroskopischen Kriterien zusammengefasst. Die typischen Werte der relevanten Parameter wie Porosität, Permeabilität, Kapillardruck, Diffusivitätskoeffizient wurden basierend auf Literaturdaten für die Matrix- und/oder Kluftsysteme tabellarisch dargestellt.

Die Transport und Verzögerungsmechanismen in verschiedenen Komponenten eines Endlagersystems in Tonformationen wurden erläutert. Gekoppelte Prozesse und Störeffekte wurden definiert. Die existierenden Modelle, die eine Beschreibung der hydromechanischen Eigenschaften und des daraus resultierenden Fluidtransports ermöglichen, wurden zusammengefasst. Die für die Anwendung der physikalischen Modelle entwickelten numerischen Umsetzungen in Form von Codes wie TOUGH2, TOUGHREACT, HYTEC, ASTER, BRIGHT wurden untersucht und deren Eigenschaften in Form eines Katalogs zusammengestellt. Die bereits im ISTec zur Verfügung stehenden Codes (TOUGH2, TOUGHREACT) wurden zielorientiert aktiviert, und die Codes, die als Testversion zu finden sind (ASTER, BRIGHT), wurden herunter geladen und getestet. Eventuelle zukünftig sinnvolle Verbesserungen der Codes wurden erfasst und dokumentiert. Basierend auf einer Zusammenfassung des Wissensstandes zur Modellierung des Fluid- und Gastransports in anderen Wirtgesteinen wurde eine vergleichende Bewertung durchgeführt und dargestellt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Erstellung des Abschlussberichtes.

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

Keine

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- Drei weitere Messstrecken zur stationären Permeabilitätsmessung mit Gas und Formationswasser wurden in Betrieb genommen. Nach Bestimmung der Ausgangspermeabilität mit Stickstoff wurden die Proben mit Formationswasser gesättigt und anschließend der zeitliche Verlauf der Permeabilität gegenüber Flüssigkeit gemessen. Bisher konnte trotz Überlagerungsdrücken von bis zu 2,5 MPa bei keiner der untersuchten Proben eine technische Dichtheit ( $k < 10^{-21}$  m<sup>2</sup>) erreicht werden.
- Zur Messdatenerfassung und -speicherung wurde die aktuelle Version des Programms LAB VIEW installiert.
- Um quantitative Aussagen zum Austrag von Ionen aus den Zwischenschichtelektrolyten der Proben zu erhalten, wurde die Konzentrationsänderung des durch die Tonproben permeierten Formationswassers bezüglich der Ionen Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> und Ca<sup>2+</sup> mit einem Atomabsorptionsspektrometer (AAS) analysiert. Die erhöhte Ionenkonzentration nach 500 bzw. 800 Stunden Versuchszeit deutet auf einen Ionenaustrag durch Eluierung hin.
- Aufbau einer Messstrecke zur instationären Permeabilitätsmessung. Erste Messungen an einer Tonsteinprobe aus Mont Terri wurden durchgeführt.
- Zurzeit wird ein Programm nach der Finite-Differenzen-Methode (FDM) implementiert, mit dem aus den instationären Permeabilitätsmessungen die zugängliche Porosität bestimmt werden kann.
- Aufbau einer Versuchstrecke zur Untersuchung des Einflusses von feuchtem Gas auf die Kompaktions- und Durchlässigkeit der Tonproben.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der laufenden Untersuchungen zur Bestimmung der stationären Permeabilität.
- Bestimmung der zugänglichen Porosität über instationäre Permeabilitätsmessungen und Vergleich mit den Simulationsrechnungen.
- Diffusionsmessungen zur Bestimmung binärer Diffusionskoeffizienten.
- Nachrüstung des fachgebietseigenen AAS mit den entsprechenden elementspezifischen Hohlkathodenlampen, um detaillierte Analysen des durch die Proben permeierten Formationswassers durchführen zu können.
- Untersuchungen zum Gasdurchbruch nach Probenaufsättigung und Widerbeaufschlagung mit Gas.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- AP 1: Herstellung von Organotonen im Labormaßstab
- AP 2: Exposition der Organotone (Temperatur, Strahlung, Mikroorganismen)
- AP 3: Sorptionstests in Batchversuchen vor und nach der Exposition
- AP 4: Strukturanalyse der Organotone in situ bei verschiedenen Temperaturen sowie vor und nach der Exposition
- AP 5: Wechselwirkung der Organotone mit gelöster organischer Substanz
- AP 6: Kennzeichnung des Einflusses der Verteilung organischer und anorganischer Kationen im Zwischenschichttraum auf die Sorptionseigenschaften
- AP 7: Monte-Carlo Simulationen der Zwischenschichtstruktur der Organotone und der Sorptionsprozesse

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1: Zu Beginn des Projekts wurde zur Herstellung der Organotone ein Ausgangsmaterial verwendet, das sich nur in der Aggregatgröße von dem im vorangegangenen Projekt verwendeten unterscheiden sollte. In vergleichenden Analysen stellte sich jedoch heraus, dass das neue Material sich auf Grund von Unterschieden in der Schichtladung der Montmorillonite nicht einheitlich belegen ließ. Daher mussten mit geeignetem Ausgangsmaterial die Organotone neu hergestellt werden.

AP 2: Für die Exposition der Organotone gegenüber erhöhten Temperaturen und ionisierender Strahlung wurde MX-80 Bentonit mit dem 2,0-fachen seiner Kationenaustauschkapazität (KAK) mit HDPy (Hexadecylpyridinium), bzw. BE (Benzethonium) belegt und mit dem 1,5-fachen seiner KAK mit TPP (Tetraphenylphosphonium). In einem Vorversuch wurde untersucht, ob und in welchem Ausmaß die Dauer der Behandlung das Ergebnis beeinflusst. Das Material wurde bei zwei Temperaturen (90 bzw. 140° C), im Trockenschrank aufbewahrt und nach jeweils 1, 3, 5, 10, 15, 30 Tagen wurden Teilproben für Batchversuche entnommen. 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 MGy.

AP 3: Die nach jeweils 1, 3, 5, 10, 15, 30 Tagen entnommenen Teilproben aus der Temperatur-Exposition wurden im Batchversuch hinsichtlich ihrer Sorptionsfähigkeit für Iod überprüft. Für die bei 90° C behandelte Variante zeigte sich bei keinem der drei Organotone ein Einfluss der Temperatur bis zum 30. Tag der Behandlung. Bei Exposition bei 140° C war jedoch für HDPy- und BE-Bentonit – anders als für TPP-Bentonit - ein deutlicher Einfluss der Behandlungsdauer zu erkennen. Die Überprüfung der Aufrechterhaltung des Sorptionsvermögens des mit  $\gamma$ -Strahlen behandelten Materials ist gegenwärtig in Bearbeitung.

AP 4: Mit der FTIR-Spektroskopie wurden strukturelle Änderungen der nach AP 2 behandelten Tone untersucht. Insbesondere die C-H-Valenz- und C-H-Deformationsschwingungen wurden für die Kennzeichnung der durch Temperatur bedingten Veränderungen verwendet. Darüber hinaus konnte für HDPy-Bentonit bei Temperaturen über 140° C eine neu entstehende Bande nachgewiesen werden die auf Strukturänderungen im Organoton hinweist und Gegenstand laufender Untersuchungen ist. Auf Grund eines Garantiefalles bei der Heizkammer, konnte mit den „in situ“ FTIR-Messungen noch nicht begonnen werden. Mit Hilfe der Röntgenbeugungsanalyse wurden Zwischenschichtabstände von Mischbelegungen gemessen.

AP 5: Gelöste organische Substanz aus Humusaufgaben unter Fichte und Buche sowie Schwarzwald wurde mit den Organotonen in Batchversuchen zur Reaktion gebracht und nachfolgend die Veränderung der Oberflächenladungseigenschaften sowie die Zusammensetzung der Gleichgewichtslösung untersucht. Durch die Wechselwirkung mit DOM kommt es zu einem deutlichen Rückgang der Oberflächenladung der Organotone, die nach ersten Ergebnissen auf die Adsorption von DOM zurückzuführen ist. Inwieweit auch organische Kationen desorbiert werden ist Gegenstand laufender Untersuchungen.

AP 6: Thermogravimetrische Untersuchungen an TPP-Montmorillonit wurden durchgeführt, um für AP 7 erforderliche Angaben zum Wassergehalt der Zwischenschicht im Temperaturbereich bis 200° C zu erhalten. Das Wasseraufnahmevermögen abgestuft belegter Organotone wurde nach der Wilhelmy-Plattenmethode gekennzeichnet. Für HDPy- und BE-Montmorillonit wurde im Bereich des Ladungsnullpunktes stark hydrophobe Effekte festgestellt (Kontaktwinkel >90°), deren Relevanz für den Stofftransport mit Hilfe von Wasserdurchbruchskurven (Advektion) untersucht wird.

AP 7: Um den Einfluss der endlagerrelevanten Temperaturen und Drücke auf die Zwischenschichtstruktur des HDPy<sup>+</sup>-Bentonits zu untersuchen, wurden Monte-Carlo-Simulationen eines zu ~110 % KAK mit HDPy<sup>+</sup> modifizierten MX-80-Montmorillonits bei 45° C und 11 MPa sowie bei 55° C und 22 MPa durchgeführt. Diese Temperaturen und Drücke sind aufgrund des geothermischen und geostatischen Gradienten in Tiefen von 500 und 1000 m einer geologischen Formation mit der Gesteinsdichte von 2200 kg/m<sup>3</sup> zu erwarten. Die Ergebnisse zeigen, dass unter diesen Bedingungen die Schichtabstände des Organotons den Wert von 20 Å nicht unterschreiten. Ein ähnlicher Befund ist auch bei Temperaturen bis zu 160° C erhalten worden. Bei diesen Schichtabständen ist kein Rückgang der Anionensorption zu erwarten. Um den in den Experimenten tatsächlich beobachteten Rückgang zu erklären, ist die Hypothese einer Alkylkettenspaltung aufgestellt worden. Dieser Mechanismus des Anionensorptionsrückgangs ist Gegenstand laufender Untersuchungen.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Batchversuche mit OT mit I-125 als Tracer nach der Behandlung mit hohen Temperaturen
- Batchversuche nach der Behandlung  $\gamma$ -Strahlung
- Untersuchung der thermischen Stabilität mit in situ FTIR-Spektroskopie
- Quantifizierung der Stoffumsetzungen bei der Wechselwirkung von DOM mit Organotonen
- Kennzeichnung des diffusiven Transportes in Organotonen mit FTIR-ATR-Spektroskopie

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Für die Jahrestagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft und der Deutschen Ton- und Tonminerallgruppe wurden zusammen drei Beiträge eingereicht.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006
<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 diesem Vorhabenszeitraum wurde innerhalb der Arbeitspakete I, II und III, folgendes Thema bearbeitet:

#### *Wechselwirkung von Elementen (Actiniden) unterschiedlicher Oxidationsstufe mit <sup>14</sup>C-markierten Huminsäure Kolloiden*

In unseren früheren Arbeiten haben wir die Bildung von unbeladenen stabilen Huminkolloiden bzw. stabilen Humin-Pseudokolloiden von An(III) und An(IV) vergleichend untersucht. Es stellte sich heraus, dass die Affinität der Huminkolloide für Actinide von der Actinid-Spezies abhängt und desto größer ist, je mehr das Actinid positiv ionisiert ist, z. B. am höchsten für Tracermengen von An(III), bei niedrigem pH und hohem Huminsäure/Actinid Konzentrationsverhältnis. In dieser Arbeit werden die vorangegangenen Experimente mit weiteren Daten vervollständigt, auf Langzeiteffekte verfolgt, und auf anderen Elementen ausgedehnt mit dem Ziel, die allgemeine Gültigkeit oben genannter Hypothese zu überprüfen. Insbesondere Ca(II), Al(III) und U(VI) und werden neben Am(III) und Th(IV) auf Komplexierung mit Huminkolloiden untersucht. Dazu wird die <sup>14</sup>C-, <sup>45</sup>Ca-, <sup>241</sup>Am-, <sup>234</sup>Th- und <sup>233</sup>U-Verteilung in den drei Phasen: ionisch gelöst, kolloidal, fest für eine große Zahl von Parameterwerten ermittelt.

Der Vergleich von den gewonnenen Ergebnissen, auch mit aus der Literatur bekannten Element-Speziesverteilungen in Abhängigkeit des pH's, bestätigt unsere Vorstellung: Die leicht hydrolysierbaren Elemente wie Ca und Al stehen in geringer Wechselwirkung mit Huminsäure, insbesondere bei neutralem oder hohem pH. Actinide jedoch, zeigen ein ausgesprochen ambivalentes Verhalten. Zum Beispiel kann das leicht hydrolysierbare Th, abhängig von den Bedingungen, entweder als vier-, drei-, zwei- oder vollständig hydrolysierte Spezies vorliegen, und sich die Affinität zu den Huminsäure Kolloiden dementsprechend ändern. Hinzu kommt, dass die Gleichgewichtseinstellung zwischen den verschiedenen Spezies nicht nur von thermodynamischen, sondern auch von kinetischen Parametern beherrscht wird. Nach längeren Konditionierungszeiten bei konstantem pH und konstanter Actinid-Konzentration wird erkennbar, dass sich zum Beispiel Th bei zunehmender Huminsäure-Konzentration, von einer Spezies in die andere umwandelt. Diese Erkenntnis ist sehr wichtig im Hinblick auf früheren Beobachtungen (Geckeis et al., Environ. Sci. Technol. 2002, 36, 2946), dass Metalle wie Th, die durch natürliche Prozesse in der Huminsäure eingebaut sind, teilweise erheblich stärker komplexiert sind als die Metalle die der gereinigten Huminsäure nachträglich im Labor zugesetzt wurden. Eine mögliche Erklärung könnte die sehr langsame Kinetik der oben genannten Element-Speziesumwandlung sein, falls relativ geringe Huminsäure Konzentrationen bei höherem pH vorliegen. Diese Hypothese könnte auch eine Erklärung sein für das oft in der Literatur beschriebene und auch von uns beobachtete Phänomen, dass längere Konditionierungszeiten die Bindungsstärke zwischen Actinid und Huminsäure erhöhen. Sie würde die Ursache in der Kinetik der Gleichgewichtseinstellung der Metallkomplexierung sehen und nicht in der allmählichen Konformationsänderung der Huminsäure mit leichten und weniger zugänglichen Bindungsstellen, wie oft in der Literatur angegeben wird. Auch neuere Literaturangaben zeigen, dass Huminsäure ab neutralem pH „uncoiled“ vorliegt und widersprechen die These der Huminsäure-Konformationsänderung. Angesichts der Bedeutung unserer Ergebnisse bezüglich der Übertragbarkeit von Labordaten auf natürlichen Bedingungen, wird unsere Vorstellung zur Zeit weiter geprüft.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Folgende Arbeiten innerhalb der Arbeitspakete I, II und III des Fortsetzungsvorhabens sind geplant:

Die Bildung von stabilen Huminkolloiden bzw. stabilen Humin-Pseudokolloiden von An(III), An(IV), An(V) und An(VI) wird weiter untersucht. Insbesondere wird die mögliche Korrelation zwischen Konditionierungszeit, Temperatur und Actinidkonzentration als kinetische Parameter untersucht. Der Einfluss von dem Wasser stets begleitenden Elementen, sowie anorganischen (Hydroxyaluminosilicat) Kolloiden, werden miteinbezogen.

Stabilitätstests und Desorptionskinetiken an stabil, in Humin- und Anorgano-Humin-Kolloiden inkorporierten Actiniden werden durchgeführt. Langzeitversuche ohne und unter Zusatz von Säure bzw. stark komplexierenden Liganden wie EDTA werden eingesetzt. Herangezogen werden radiometrische Methoden, gekoppelt mit Ultrafiltration und falls angebracht Laser-spektroskopische Methoden.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

P.J. Panak, M.A. Kim, R. Klenze, J.I. Kim, Th. Fanghänel: "Complexation of Cm(III) with aqueous silicic acid": *Radiochim. Acta*, 93 (2005) 133-139.

M.A. Kim, P.J. Panak, J.I. Yun, A. Priemyshev, J.I. Kim: „Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi, Part III: Colloid Formation from Monosilanol and Polysilanol“; *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 254 (2005) 137-145.

J.I. Yun, M.A. Kim, P.J. Panak, J.I. Kim, Th. Fanghänel: "Formation of aquatic Th(IV) Colloids and Stabilization by interaction with Cm(III)/Eu(III)", submitted to *Journal of Physical Chemistry B* 110 (2005) 5416-5422.

D. Breban, P.J. Panak, K. Dardenne, J. Rothe, M.A. Denecke, M.A. Kim, J.I. Kim, Th. Fanghänel: „Interaction of U(VI) with Silica and Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi“: ANKA/FZK Annual Report 2005 (2005).

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*, submitted.

##### *Dissertationen*

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

##### *Konferenzen*

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> 01.01.2006 bis 30.06.2006
<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

AP 1: **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.

AP 2: **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:** Als erster Schritt wurde ein ebenes Schnitt-Modell entwickelt und die mechanisch-hydraulischen Reaktion auf die Schachtabteufung mittels eines thermo-elastoplastischen Stoffansatzes simuliert. Die berechneten Verformungen und Porenwasserdrucke liegen in der Größenordnung der Messwerte; auf Grund der stark vereinfachten Modellgeometrie und Chronologie sind aber erwartungsgemäß deutliche Abweichungen vorhanden. Der nächste Schritt ist ein axialsymmetrisches Modell, das die Geometrie und Abteufungschronologie besser berücksichtigt, allerdings die Spannungsanisotropie dafür vernachlässigen muss.

**Laboruntersuchungen:** Das gemeinsam mit ANDRA entwickelten Laborprogramm wurde intensiviert.

13 einaxiale Kriechversuche wurden im Februar bei unterschiedlichen Belastungen von 1 bis 4 MPa gestartet. Nach Erreichen quasi-stationären Zustände wurden die Spannungen jeweils für alle Proben um 3 MPa erhöht. Die Versuche werden in verschiedenen Belastungsstufen bis zum Ende des Projekts weitergeführt und fortlaufend ausgewertet.

2 triaxiale Kriechversuche wurden ebenfalls begonnen. Die Proben wurden zunächst unter einer hydrostatischen Spannung von 15 MPa für 2 Wochen konsolidiert. Nach Reduzierung des Manteldrucks auf 12 bis 10 MPa wurden die Axial- und Radialverformungen über 3 Monate gemessen. Weitere Untersuchungen bei erhöhter Temperatur von 50 und 90° C werden sich anschließen.

12 Gaspermeabilitätsversuche sind vorgesehen. Vier Versuche an gelochten Tonproben wurden bereits durchgeführt. Einige Proben werden nach Versuchsende bei hohen Temperaturen über 100° C getrocknet und mit Wasser bzw. Wasserdampf wieder aufgesättigt. Nach jeder Phase werden die Gaspermeabilitäten bestimmt und verglichen, um die Effekte von Temperatur und Aufsättigung im Hinblick auf die Verheilung des geschädigten Tonsteins zu identifizieren.

Die abschließende Auswertung wird jeweils nach Beendigung der Versuche durchgeführt.

Im Rahmen der Untersuchungen zur Eignung des Auffahrungsrückstandes als Versatzmaterial wurden Versuche zur Verdichtbarkeit und zur Bestimmung des Kornzertrümmerungsgrades durchgeführt. Insgesamt sind 18 Untersuchungen mit unterschiedlichen Feuchtegehalten und Kornzusammensetzungen betrachtet worden. Es wurden Proctorversuche und Bestimmungen der dichtesten und lockersten Lagerung sowie einaxiale Konsolidierungsversuche durchgeführt. Ab Juli 2006 wird damit begonnen, die Laborversuche auf die Bestimmung der Modellparameter für die HM-Modellierung abzustimmen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Simulation des hydraulisch-mechanischen Verhaltens des REP-Experiments mit einem axialsymmetrischen Modell unter Benutzung des Programms CODE\_BRIGHT
- Modellierungen des Experiments TER
- Weiterführung der ein-/triaxialen Kriechversuche und der Permeabilitätsmessungen
- Starten der Triaxialversuche zur Gaspermeabilität in Abhängigkeit von Spannungen
- Entnahme weiterer großer Tonkerne aus dem URL Bure
- Bestimmung von Materialparametern für Modellrechnungen

### 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- AP 1: Erstellung eines Referenzkonzeptes
  - AP 2: Bewertung der Betriebssicherheit
  - AP 3: FEP-Generierung und Szenarientwicklung
  - AP 4: Integritätsnachweis geologischer Barrieren
  - AP 5: Nachweiskonzept zur Integrität der einschlusswirksamen technischen Barrieren
  - AP 6: Ermittlung und Bewertung nicht auszuschließender Freisetzungsszenarien
  - AP 7: Nachweiskonzepte für die Einhaltung der nicht radiologischen Schutzziele in der Nachbetriebsphase
  - AP 8: Empfehlungen für zukünftig erforderliche FuE-Arbeiten
  - AP 9: Projektleitung und Dokumentation
- GRS ist federführend für das Arbeitspaket 6. Dieses gliedert sich in die Unteraufgaben:
- AP 6.0: Ermittlung der repräsentativen Freisetzungsszenarien
  - AP 6.1: Konzept- und Modellentwicklung
  - AP 6.2: Konsequenzenanalyse

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Allgemein: - Teilnahme an Projektgesprächen am 11.01.2006, 09.03.2006, 28.03.2006, 05.04.2006 und 29.05.2006;  
 - Gespräch in Karlsruhe (3./4.05.2006);  
 - Arbeitsgespräche am 03.03.2006, 22.03.2006; und 12.06.2006
- AP 3/6.0: - Stellungnahmen zur FEP-Liste, die von BGR entwickelt wurde;  
 - Beschreibung weiterer FEP  
 - Bereitstellung eines Top-down-Approaches für die Szenarientwicklung
- AP 6.1: - Entwicklung eines vereinfachten Strukturmodells zur Untersuchung grundlegender Fragen, z. B. Zufluss in die Grube in Abhängigkeit von Permeabilitäten der Verschlüsse  
 - Entwicklung von Modellen für die einfachen Grubengebäudestrukturen (z. B. Schachtverschluss)

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP 3: - Mitarbeit bei der Endredaktion der FEP und Szenarien (dieser AP wird federführend von der BGR bearbeitet)
- AP 6.0: - Entwicklung der relevanten Freisetzungsszenarien an Hand der FEP-Liste der BGR, ggfs. ergänzt um weitere freisetzungsrelevante FEP
- AP 6.1: - Fertigstellung des Konzepts zur Bewertung der radiologischen Konsequenzen  
 - Entwicklung eines Konzepts zur Bewertung der Kritikalitätssicherheit  
 - Weitere Modellentwicklungen
- AP 6.2: - Untersuchungen an einfachen Strukturmodellen  
 - Entwicklung der Gesamtstruktur des geplanten Grubengebäudes  
 - Untersuchungen an der Gesamtstruktur (Konsequenzenanalyse)
- 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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.

Zunächst 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**

AP 1:

Im Berichtszeitraum wurde die Zusammenstellung eines repräsentativen Abfallinventars unter Berücksichtigung von Daten der Industrie abgeschlossen. Eine konzeptionelle Auslegung eines Grubengebäudes wurde auf Basis einer gezielten thermischen Berechnung und unter Auswertung bestehender Planungen erstellt. Die für die Einlagerung erforderlichen Komponenten und Techniken wurden beschrieben und hinsichtlich sicherheitlich relevanter Themen bewertet. Zum technischen Barrierensystem wurden erste Anforderungen formuliert, weitere sollen auf Basis von orientierenden hydraulischen Modellrechnungen hergeleitet werden.

Mit der Beschreibung des Geologischen Standortmodells wurde begonnen.

AP 2:

Mit der Bewertung der Betriebssicherheit wurde mit zeitlicher Verzögerung begonnen.

AP 3:

Planmäßig hat BGR eine spezifische FEP-Liste mit einem bottom-up - Ansatz generiert, konsolidiert und gescreent. Mit der Ableitung von Szenarien für das Endlager daraus begonnen. Von GRS wurden alternativ dazu mit einem top down – Ansatz FEPs generiert.

AP 4:

Mit der Erarbeitung des Integritätsnachweises für die geologischen Barrieren wurde begonnen.

AP 5:

Mit der Erarbeitung des Integritätsnachweises für die technischen Barrieren wurde begonnen. Aufbauend auf den Ergebnissen aus dem AP 1 werden die einzelnen technischen Barrieren untersucht und bewertet.

AP 6:

Die Bearbeitung dieses APs baut auf den Ergebnissen der Szenarienentwicklung auf und wurde deshalb noch nicht begonnen. Bzgl. der Vorarbeiten wird auf den Halbjahresbericht der GRS zum gleichnamigen Vorhaben verwiesen.

AP 7:

Die Arbeiten wurden planmäßig noch nicht aufgenommen.

AP8:

Aufbauend auf den Ergebnissen zu AP3 wurde empfohlen, weiterführende Arbeiten zur Erstellung einer weitgehend abgesicherten und umfassenden FEP-Liste zu initiieren.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

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

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

Dr. J. Krone; Prof. W. Brewitz (GRS); Prof. M. Wallner (BGR):

„Überprüfung des Instrumentariums zur sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern - ISIBEL“ 7. Projektstatusgespräch des Projektträgers Forschungszentrum Karlsruhe Wassertechnologie und Entsorgung, 3./4. Mai 2006, Karlsruhe (im Druck)

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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:*

Die Messapparatur wurde zunächst mit reinem Wasser getestet. Undichtigkeiten konnten lokalisiert und beseitigt werden. Temperatur- und Druckfühler wurden kalibriert.

Für Versuche in den Systemen Fe(II)-Mg-Cl-H<sub>2</sub>O und Fe(II)-Mg-Cl-H<sub>2</sub>O wurden Stammlösungen hergestellt und charakterisiert (Dichte, Zusammensetzung).

#### *Literaturstudie:*

Die geplante Literaturstudie konnte nicht durchgeführt werden. Im Literaturbestand der Abteilung Geochemie befinden sich jedoch Veröffentlichungen, die für das Projekt relevante Daten enthalten (Löslichkeiten und Dampfdrücke). Ohne Literaturstudie kann über ihre Vollständigkeit aber keine Aussage getroffen werden.

#### *Korrosionsversuche:*

Angesetzter Versuch: pulverisiertes Eisen mit IP21-Lösung bei 90° C (vier Wochen). Wie erwartet, konnten wir die Entwicklung von Wasserstoff beobachten. Die Probe wurde zwecks röntgendiffraktometrischer Phasenbestimmung an das Institut für Geologische Wissenschaften der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald geschickt (Herrn Dr. Kasbohm).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Temperatur- und Druck-Kalibrierung einer Apparatur zur direkten Messung von Dampfdrücken über wässrigen Lösungen bei Temperaturen bis 90° C
- Test der Versuchsapparatur an bekannten Systemen (z. B. NaCl-H<sub>2</sub>O)
- Messungen von Dampfdrücken bis 90° C im System FeSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O
- Durchführung von Löslichkeitsversuchen bis 90° C im System FeSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O

### 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> 01.05.2006 bis 30.06.2006	
<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

- AP 1: Experimentelle Arbeiten (INE)
- AP 1.1: Laborprogramm zu Mechanismen der Kolloid-RN-Kluftmineral-Wechselwirkung
- AP 1.2: In-situ-Experimente zur kolloidgetragenen RN-Migration
- AP 2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS/INE)
- AP 2.1: Parametrisierung von TRAPIC (GRS)
- AP 2.2: Vorausberechnung für das CFM Experiment (GRS)

- AP 2.3: Bewertung des kolloidgetragenen RN Transports (GRS)
- AP 2.4: Modellrechnungen zum Standort Äspö (GRS)
- AP 2.5: Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen (INE)
- AP 3: Integration und Abschlussdokumentation (Executive Summary) (GRS/INE)

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

- AP1: Vom 15.05.2006 an wurden zwei Doktoranden eingestellt, die mit ihren Arbeiten zum vorliegenden Projekt begonnen haben. Das erste Thema lautet: Einfluss der Kolloidbildung auf das Migrationsverhalten von Radionukliden, das zweite lautet: Wechselwirkung von aquatischen Kolloiden mit Mineraloberflächen. Die Inhalte beider Arbeiten beziehen sich unmittelbar auf das Verbundprojekt. Angefangen wurde mit experimentellen Arbeiten zur Kolloidstabilität in Abhängigkeit geochemischer Parameter wie pH und Ionenstärke. Des Weiteren wurde mit dem Aufbau einer experimentellen Anordnung begonnen, um die Sorption fluoreszenzmarkierter Kolloide an Mineraloberflächen zu untersuchen. Das Verhalten der Kolloide wird dabei mit einem Fluoreszenzmikroskop beobachtet.
- AP3: Eine erste Abstimmung mit den Arbeiten der GRS wurde im Rahmen einer Videokonferenz am 21.06.06 getroffen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP1: Die begonnenen Laborexperimente zur Kolloidstabilität und zur Kolloid-Mineraloberflächenwechselwirkung werden fortgesetzt. Dabei werden Einflüsse relevanter geochemischer Parameter, die typisch für Grundwässer sind (pH, Ionenstärke, Anwesenheit von natürlichen organischen Kolloiden), untersucht. Eine Anordnung zur Quantifizierung der Kolloidgeneration aus kompaktiertem Ton wird aufgebaut. Zudem werden Methoden zur Quantifizierung der Kolloidwechselwirkung mit der Mineraloberfläche weiterentwickelt und angewendet (Fluoreszenzmikroskopie, Kraftmikroskopie).
- AP3: Weitere Abstimmungstreffen, bei denen Modellierungsthemen im Detail besprochen werden, sowie ein erstes Projekttreffen im Dezember, sind bereits mit GRS vereinbart.

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

Keine

<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> 01.05.2006 bis 30.06.2006	
<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

- AP 1: Experimentelle Arbeiten (INE)
- AP 1.1: Laborprogramm zu Mechanismen der Kolloid-RN-Kluftmineral-Wechselwirkung
- AP 1.2: In-situ-Experimente zur kolloidgetragenen RN-Migration
- AP 2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS/INE)
- AP 2.1: Parametrisierung von TRAPIC (GRS)
- AP 2.2: Vorausberechnung für das CFM Experiment (GRS)

- AP 2.3: Bewertung des kolloidgetragenen RN Transports (GRS)
- AP 2.4: Modellrechnungen zum Standort Äspö (GRS)
- AP 2.5: Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen (INE)
- AP 3: Integration und Abschlussdokumentation (Executive Summary) (GRS/INE)

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

- AP 2: Aus Batch-Experimenten wurden Sorptionswerte im System Americium-Bentonit-Kluftfüllmaterial und Desorptionsraten für Americium von den Bentonitkolloiden ermittelt. Ein zusätzlicher Datenbedarf insbesondere für lange Zeiträume wurde identifiziert. Mit den Daten konnte die Migration von Americium im Experiment #31 des vorangegangenen CRR (Colloid and Radionuclide Retention) -Projekts simuliert werden.
- AP 3: Eine erste Abstimmung mit den Arbeiten des INE wurde im Rahmen einer Videokonferenz am 21.06.06 getroffen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP2: Im nächsten Schritt sollen für Strontium, Plutonium und Cäsium Sorptionswerte und Sorptionsdaten aus Batch-Experimenten abgeleitet und damit deren Transport im vorangegangenen CRR-Experiment mit dem Programm TRAPIC-1D nachvollzogen werden. Gegebenenfalls soll das bisherige Modell modifiziert werden, um Heterogenitäten in der Strömungsgeschwindigkeit zu berücksichtigen. Auf dieser Basis sollen dann Rechnungen unter Variation von Transportgeschwindigkeit und Transportweglänge durchgeführt werden, die zur Auslegung des CFM (Colloid Formation and Migration)-Experiments beitragen. Das Rechenprogramm TRAPIC-2D wird weiterentwickelt, um komplexe Strömungsfelder und Anisotropieeffekte der Permeabilität berücksichtigen zu können.
- AP3: Weitere Abstimmungstreffen, bei denen Modellierungsthemen im Detail besprochen werden, sowie ein erstes Projekttreffen im Dezember, sind bereits mit INE vereinbart.

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

Keine



## **2.2 C-Vorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0720</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie		
<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> 01.10.2000 bis 31.03.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 31.03.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 699.653,99 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Lux	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ein besonderer Teilaspekt des geforderten Sicherheitsnachweises für Untertagedeponien ist die Quantifizierung der zeitabhängigen Dichtigkeit des Verbundsystems „Querschnittsabdichtung-Salzgebirge“. Im Grubenraumnahbereich entwickeln sich mit der Standzeit zunehmende Gefügauflockerungen im Salzgebirge. Andererseits kommt es zu einer Verheilung der Gefügeschädigungen im Bereich von Versatz oder Querschnittsabdichtungen. Diese beiden inversen Prozesse müssen gleichzeitig in der Nachweisführung berücksichtigt werden, da sonst eine entweder zu progressive oder aber eine zu konservative Einschätzung der Dichtigkeit erfolgen würde. Ziel des Vorhabens ist es auf der Grundlage von Laboruntersuchungen ein Stoffmodell zu entwickeln, mit dem die Gefügeschädigung und die Verheilung der Schädigung quantitativ beschrieben werden können. Die Validierung des Stoffmodells erfolgt durch numerische Nachrechnung von Versuchen an axialgelochten Modellprüfkörpern. Durch die exemplarische Anwendung des Stoffmodells auf geotechnische Barrieren (Querschnittsabdichtungen) ist beabsichtigt, die Kriterien zum Kriechbruchverhalten, zur Dauerstandsicherheit und zur Integrität von Steinsalz zu erweitern.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- a) Probennahme und Herstellung von Prüfkörpern
- b) Kurzzeitversuche an Vollprüfkörpern mit messtechnischer Erfassung der Dilatanz.
- c) Kriechversuche an Vollprüfkörpern mit messtechnischer Erfassung der Dilatanz
- d) Theoretische Entwicklung eines „Verheilungsmodells“ und Implementierung in das Programmsystem MISES 3
- e) Konstruktion und Aufbau eines Modellprüfstandes zur Durchführung von Dauerstandversuchen an axialgelochten Großbohrkernen unter besonderer Berücksichtigung der Prozesse „Schädigung“ und „Verheilung“
- f) Durchführung von Laborversuchen an axialgelochten Großbohrkernen
- g) Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisdaten und exemplarische Anwendung auf ausgeführte Beispiele.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Auswertung des weiteren Laborversuchs über einen Zeitraum von  $t > 196d$ .
- Auswertung von PoroPerm-Versuchen zur Bestimmung relevanter Parameter für die verwendete PoroPerm-Beziehung

Wesentliches Merkmal eines Stoffmodells auf der Basis der Continuum- Damage- Mechanik (CDM) ist die Beschreibung der vor einem Materialversagen einsetzenden Gefügeschädigung. Durch die Erfassung der bei Überschreitung der Dauerfestigkeit einsetzenden Gefügeschädigung kann die zeitabhängige Tragfähigkeit bei Beanspruchungen zwischen Dauerfestigkeit und der Bruchfestigkeit quantifiziert werden. Der bei deviatorischer Entlastung eines geschädigten Materials einsetzende rekursive Prozess der Verheilung ist wesentlicher Forschungsgegenstand des Vorhabens.

Es wurden Versuche durchgeführt, um die erforderlichen Stoffkennwerte zu ermitteln, die für die rechnerische Simulation der Verheilung im Berechnungsprogramm MISES3 notwendig sind. Zur Erweiterung der Parameterdatensätze wurden auch Versuche an Salzprüfkörpern der Lokation Sondershausen durchgeführt.

Neben der im Rahmen der Schädigungsmechanik bereits standardisierten Messung der Volumendilatanz sind für die messtechnische Quantifizierung der Schädigung und Verheilung versuchsbegleitend Ultraschallmessungen durchgeführt worden.

Die Auswertung eines Laborversuchs, der über den Zeitraum von  $t = 196d$  gefahren wurde, zeigt eine Aufteilung der Verheilung in drei Bereiche anstelle der zuvor angenommenen zweiphasigen Verheilung. Eindeutig erkennbar sind die drei Phasen der Verheilung, wenn die Dilatanz bzw. Schädigung logarithmisch über die Zeit aufgetragen wird. Im ersten Bereich nimmt die Dilatanz/ Schädigung innerhalb eines relativ kurzen Zeitraumes signifikant ab, im zweiten Bereich verlangsamen sich die Prozesse und im dritten Bereich wird schließlich nur noch ein geringer Anteil Dilatanz/ Schädigung über einen sehr langen Zeitraum zurückgebildet. Im beobachteten Versuchszeitraum kam es in den letzten ca. 40d zu keiner bedeutenden Abnahme der Dilatanz bzw. Schädigung.

Die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der dritten Phase (Verheilungsphase) können derzeit nur durch einen Langzeitlaborversuch belegt werden, der bis in die Verheilungsphase gefahren wurde. Der Parameter  $f_h$  konnte bisher nur an diesem Versuch ermittelt werden. Aus diesem Grund wurde ein weiterer Laborversuch über einen langen Zeitraum durchgeführt. Die Ergebnisse stehen nun zur Verfügung und werden im Forschungsbericht vorgestellt.

Weitere Ergebnisse aus Laborversuchen betreffen Poro-Perm-Versuche zur Ermittlung, die durchgeführt wurden, um Parameter für die verwendete Poro-Perm-Beziehung abzuleiten. Die Ergebnisse dieser durchgeführten Versuche werden ebenfalls im Rahmen des Abschlussberichtes entsprechend detailliert vorgestellt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Abschließender Forschungsbericht

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<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 30.06.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.091.844,00 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

#### AP 2: Materialuntersuchung im ÄS und DS, Messtechnik

*Steigversuche mit Salzwasser:* Beim Ausbau wurde die Feuchte aufgenommen und Salzgehalt bzw. Leitfähigkeit bestimmt. Es zeigten sich nur geringe Verschleppungs- bzw. Chromatographie-Effekte. Die Steighöhen des neuen M33 (70 % N45er Feinsand, 15 % Kaolinmehl, 15 % Muschelkalkmehl) sind im destillierten Wasser etwas verhaltener als der M21. Hingegen bei Lauge erreicht dieses nach etwa 400 Tagen die 3 m Marke.

*Vorkonfektionierung:* Es wurden mehrere Steigrohre mit konfektioniertem (befeuchtetem, anschließend getrocknetem und zerkleinertem) Material (M33) gefüllt. Damit sollte eine geringere Setzung des Materials erreicht werden. Die Lauge steigt im konfektionierten Material etwas langsamer als im nicht konfektionierten.

*Variogramm:* Damit soll die Streuung der Steigversuche durch Inhomogenitäten der Mischung, Sortierung beim Befüllen und sonstiger Einflüsse bilanziert werden. Fünf Steigrohre wurden mit einer neuen Charge der Mischung M33 befüllt und gleichzeitig gestartet. Es hat sich bislang gezeigt, dass der Versuch in Bezug auf Steighöhen, Steiggeschwindigkeit und Wasserverbrauch homogen läuft.

*Kalk-Kaolin Ratio:* Grundsätzlich steigen Fluide in kalkhaltigen Materialien schneller. Dies ist nicht mit der Körnungsverteilung allein zu belegen. Der Kalkgehalt wurde zum Kaolinanteil variiert. Besonders wurde hier auf die Schüttdichte und Einbaudichte geachtet.

*Salzanreicherung im ÄS:* Die Leitfähigkeitsmessung im Turmversuch zeigen eine ungleiche Verteilung der Salzkonzentration in ÄS und DS bezogen auf den Wasser- bzw. Laugengehalt. Das zeigt, dass das

ÄS eine temporäre Reduktion der Salinarität bewirkt. Ein Perkolationsversuch mit Feinstsand hat dieses bestätigt.

Die *mineralogische Charakterisierung* von Materialien für den Einsatz in den ÄS wurde fortgesetzt. Auf Grund der mineralogischen Ergebnisse wurden neue Materialien in die Betrachtung einbezogen. Die neuen Materialien werden im 2. Halbjahr 2006 in Steigversuchen getestet. Ein umfangreicher Bericht mit den Materialkennwerten aller getesteten Materialien für die ÄS und DS sowie die eingesetzte Lauge wurde erstellt und wird laufend ergänzt. Die Salzverteilung im vertikalen Technikumsversuch (HTV1) wurde mittels quantitativer Röntgenphasenanalyse und über Leitfähigkeitsmessungen bestimmt. Die Umwandlung des natürlich Ca, Mg-reichen Bentonits Calcigel in einen Na-belegten Bentonit über Mischbelegungen konnte über die Profilhöhe röntgenographisch qualitativ nachgewiesen werden. Die Quantifizierung steht noch aus.

#### AP 3: Numerische Modellierung

In einer Sensitivitätsanalyse konnte als entscheidender bodenhydraulischer Parameter die Porosität identifiziert werden. Damit kann der Aufwand für die Bodenanalysen reduziert werden.

#### AP 4: Versuche im halbtechnischen Maßstab

Der HTV1, aufgebaut in senkrechter Anordnung als Schachtverschluss im Technikum der Bergakademie TU Freiberg wurde nach einer Laufzeit von über einem Jahr im Februar 2006 planmäßig beendet, nachdem die Lauge das oberste DS erreicht hat. Die Funktionsfähigkeit der ÄS kann mit der TDR-Messtechnik nachgewiesen werden: es konnte gezeigt werden, dass die Lauge in den gestörten Zonen des DS schneller vordringt. Die Lauge breitet sich in den ÄS homogen in der Fläche aus und benetzt von hinten das DS. Der Vorgang tritt in beiden ÄS auf. Die Auswertung der ringförmigen Sensoren im geteilten ÄS2 zeigt, dass der obere Materialmix (N45/Kaolin/Kalkmehl) gegenüber der darunter liegenden N45-Sandschicht die Lauge schneller transportiert, was in guter Übereinstimmung mit den Laborversuchen (Turmversuche) steht. Nach dem Rückbau des HTV1 erfolgte der Einbau des HTV2 in gleicher Weise. Der Behälter wurde in die Waagrechte gekippt und simuliert einen Streckenverschluss. Die Zufuhr der Lauge erfolgte zu Beginn mit geringem Druck von etwa 1 bar. Der Druck wird mit abnehmendem Fluidzutritt erhöht. Bisher hat die Lauge die Ausgleichsschicht gefüllt und breitet sich im unteren DS aus. Über die Sandlinse bildet sich im DS eine voreilende Feuchtefront aus, die bereits das erste ÄS im unteren Bereich befeuchtet. Aus der Sensorauswertung wird belegt, dass der Firstbereich dicht bleibt.

## **4. Geplante Weiterarbeiten**

Der zweite Versuch im halbtechnischen Maßstab (Streckenverschluss) wurde im Frühjahr 2006 gestartet. Die Steigversuche werden mit Salzlösung weitergeführt, ebenso die Versuche mit den geschichteten ÄS (Turmversuch). Weiter werden die Salzverlagerungen im DS und ÄS quantifiziert. Die Mineralogie (Materialdesign) der „qualifizierten“ Artmixe wird weiter analysiert. Die unterschiedlichen kapillaren Eigenschaften der Artmixe sollen über die Kenntnis der Kontaktwinkel verifiziert werden. Parallel wird ein Konzept für die numerische Simulation mit der Bauhausuniversität Weimar erarbeitet.

## **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Der Projektstand wurde am 05. Juli 2006 beim Projektgespräch in Karlsruhe vorgestellt. Auf der Homepage ([www.untertageverschluss.de](http://www.untertageverschluss.de)) wird ein ausführlicherer Sachstandsbericht dazu eingestellt. Anlässlich des Workshops der Forschergruppe Feuchtemesstechnik – SMG der Universität Karlsruhe im Oktober 2006 ist ein Poster und/oder ein Vortrag geplant.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- pH-abhängige Säulenexperimente mit  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  und Sand bei Abwesenheit von Huminsäure
- pH-abhängige Adsorption von  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  und Sand bei Anwesenheit von Huminsäure
- Vorkonditionierung einer Sand/Kaolinit-Säule für Durchbruchkurven
- Beginn der Dokumentation / des Abschlussberichtes.

Im binären, dynamischen System (Säulenversuche) wurde mit  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  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 4, 5, 6 und 7 und einer Ionenstärke von 0,1 mol/l untersucht. Dabei wurden vor und nach der Säule online das Radioaktivitätssignal, der pH-Wert, die UV-Absorption und die Leitfähigkeit bestimmt. Die Wiedererhalte betragen 100 % (pH 4 und 5) und 83 % (pH 6). Bei pH 7 konnte kein Zn im Säuleneluat detektiert werden (vollständige Rückhaltung). Der Zn-Durchbruch erfolgte bei  $V/V_0 = 1,3; 1,4$  und  $2,1$  für pH 4; 5 und 6. Nach der Vorkonditionierung der Sandsäule mit 50 mg/l Huminsäure wurde  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  bei pH 5 und 6 injiziert. Die Wiedererhalte betragen 100 % (pH 5) und 89 % (pH 6). Die leichte Erhöhung im Vergleich zum huminsäurefreien System bei pH 6 ist auf den nicht adsorbierten Zn-Humat-Komplex zurückzuführen. Allerdings erfolgte der Zn-Durchbruch deutlich später als im huminsäurefreien System:  $V/V_0 = 3,0$  und  $4,6$  für pH 5 und 6. Im Hinblick auf den Ton konnte eine Säule, gefüllt mit Sand/Kaolinit im Gewichtsverhältnis 9:1, bei pH 5, einer Ionenstärke von 0,1 mol/l und einem Fluss von 400  $\mu\text{l}/\text{min}$  vorkonditioniert werden, ohne dass es zu Schwankungen im Fluss innerhalb von einer Woche kam.

Mit der Erstellung des Abschlussberichtes wurde begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchbruchkurven von  $^{14}\text{C}$ -markierter Huminsäure an Sand- und Sand-/Kaolinit-Säulen
- Durchbruchkurven von  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  an Sand-/Kaolinit-Säulen bei Ab- und Anwesenheit von  $^{14}\text{C}$ -markierter Huminsäure
- 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, eingereicht.

A. Mansel, H. Kupsch: „Radiolabelling of Humic Substances with  $^{14}\text{C}$ .“ Appl. Radiat. Isot., eingereicht.

H. Lippold, A. Mansel, M. Richter: „Radiotraceruntersuchungen zum Einfluss geochemischer Faktoren auf Wechselwirkungsprozesse dreiwertiger Metalle in huminstoffhaltigen Systemen.“ Abschluss-Workshop zum Verbundtreffen „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer.“, Mainz, 28.-29.03.2006.

H. Lippold, A. Mansel, H. Kupsch: „Influence of Trivalent Electrolytes on the Humic Colloid-borne Transport of Contaminant Metals: Competition and Flocculation Effects.“ Annual Report 2005, IIF Leipzig, March 2006, 58-72.

<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 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 741.130,00 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 Gasfracversuche 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
- Modifikation Triaxialversuchsstandes und Verwendung von Hexan als strömendes, benetzendes nicht reaktives Medium für Testmessungen
- 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 soll im weiteren Projektverlauf ein schädigungsabhängiger Biot-Parameter entwickelt werden, der den Einfluss des Gasdruckes in Abhängigkeit von der dilatanten Schädigung beschreibt. Dies ist besonders für die Betrachtung von Effektivspannungen interessant.

Durch die stufenweise Erhöhung des Gasdruckes bis 14 MPa beim In-situ-Versuch in Bernburg ist es zu einem weiteren Anstieg der Abströmraten gekommen. Nach kurzer Standzeit bei 14 MPa Gasdruck hat ein Abströmen des Gasdruckes über die Formation stattgefunden. Dabei ist der Gasdruck auf 10,5 MPa abgefallen. Die Bestimmung der Permeabilität mittels eines radialsymmetrischen Ansatzes liefert eine maximale Permeabilität von etwa 10-20 m<sup>2</sup> beim Gasdurchbruch. Nach dem Druckabfall stellt sich bei stationären Verhältnissen eine Ruhepermeabilität von ca. 10-22 m<sup>2</sup> ein. Der Refrac bei einem Gasdruck von 12 MPa führt zu einer Permeabilitätssteigerung aus der Ruhelage auf etwa 10-21 m<sup>2</sup> um nach einem Gasdruckabfall auf ca. 10 MPa wieder eine Ruhepermeabilität von 10-22 m<sup>2</sup> zu erreichen. Während dem Abströmen waren in den akustischen Messungen keine signifikanten Änderungen zu erkennen.

Eine Präsentation der bisherigen Ergebnisse ist bei dem 7. Projektstatusgespräch in Karlsruhe am 3. Mai 2006 erfolgt.

### 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 0963</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheits Gesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2003 bis 31.03.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 31.03.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 102.703,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Herbert	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung von statistisch abgesicherten Beziehungen zwischen den Chemismus von Salzlösungszutritten in Kalibergwerken Mitteldeutschlands und ihrem geologisch-tektonischen sowie bergbaulichen Umfeld. Vorgesehen sind die Erfassung und Auswertung des in der ehemaligen Kaliforschung der DDR gesammelten Datenmaterials zu Salzlösungszuflüssen. Es werden die Beziehungen des Chemismus der Salzlösungen zur Ausbildung der Schichtenfolge, zur Bruchtektonik und zur Subrosion untersucht. Das Vorhaben wird in einer Kooperation der GRS mit Dr. A. Schwandt/Erfurt durchgeführt. Dr. Schwandt stellt das Datenmaterial und die geologisch-tektonischen und bergbaulichen Detailinformationen zur Verfügung. GRS erarbeitet eine Datenbankstruktur zur Aufnahme der vorhandenen Daten. Von GRS werden die Daten auf Plausibilität und Ausreißer überprüft. Bei der exemplarischen Auswertung des teilweise schon historischen Datenmaterials wird erstmalig der Ansatz verfolgt, geochemische und geologische Daten mit der Betrachtungsweise der Langzeitsicherheitsanalyse zusammenzuführen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1:** Sichtung der Archive und Auswahl von geeigneten Analysendaten von Lösungszuflüssen und dazugehörigen geologischen, tektonischen und bergmännischen Informationen.  
**AP2:** Übertragung der Daten in ein Datenbanksystem und Auswertung nach festzulegenden Kriterien.  
**AP3:** Abschlussbericht.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Aus dem Untersuchungsgebiet wurden 5901 Lösungsanalysen dokumentiert. Die Analysen sind auf Plausibilität überprüft worden. Ein Teil der Analysen war für die weitere Auswertung nicht geeignet. Die Auswertung der Analysendaten wurde anhand der Salzgehalte und nur mit plausiblen Lösungszusammensetzungen durchgeführt. Die Anzahl der Salzlösungszuflüsse mit über lange Zeiträume gleich bleibender Zusammensetzung ist gering. Die chemischen Zusammensetzungen der Salzlösungszuflüsse bewegen sich in bestimmten charakteristischen Bandbreiten der Makrokomponenten. Bedingt durch die Löslichkeit der Salze korrelieren grundsätzlich hohe  $MgCl_2$ -Werte mit geringen  $NaCl$ -Werten. Umgekehrt weisen Salzlösungen mit hohen  $NaCl$ -Werten nur geringe  $MgCl_2$ -Konzentrationen auf. Die große Bandbreite der Lösungszusammensetzungen wird erkennbar. Eine Typisierung der Salzlösungen nach dem  $MgCl_2$ -Gehalt ist für mehr als 90 % der erfassten Salzlösungszutritte in die geochemischen Typen A, B, C und D möglich. Die einzelnen Kaligebiete sind meist durch einen vorherrschenden Lösungstyp charakterisiert. Etwa 10 % der Lösungen sind einem Mischtyp zwischen Typ C und D zuzuordnen. Sie werden unter der Bezeichnung Typ E geführt. Zum Typ E gehören Zuflüsse, die mit den  $MgCl_2$ -Gehalten des Typs C beginnen, diese im Laufe ihrer Entwicklung kontinuierlich bis auf das Niveau des Typs C abbauen und schließlich zum Abtaufen von Gruben führen. Die neue Systematik der Salzlösungen Mitteldeutschlands ist gegenüber früheren Klassifizierungen anwendungsfreundlicher und praxisrelevanter.

Die Beurteilung des Gefährdungspotentials von Lösungszuflüssen ist jedoch allein auf Grund der Charakterisierung der chemischen Zusammensetzung und ihrer Typisierung nicht möglich. Zur Präzisierung sind weitere Untersuchungen der allgemeinen und speziellen geologischen und hydrogeologischen Situation sowie eine Bewertung des bergmännischen und geomechanischen Zustandes erforderlich.

Aus den zur hydrogeologischen Situation bekannten Daten ist erkennbar, dass in Gebieten mit vergleichbarer stratigraphischer und tektonischer Situation mit zunehmender Teufe eine Erhöhung der Konzentration der Salzlösungen verbunden ist. Die Anzahl der Zuflüsse und die Zuflussmenge nehmen mit der Teufe ab. Im Hauptanhydrit wird eine deutliche teufenabhängige Dichteschichtung beobachtet. Hochkonzentrierte Salzlösungen führen in Kaliabbaugebieten zu einer begrenzten Durchfeuchtung der Salze. Bei Zutritt der Salzlösungen ins Grubengebäude kann durch Erosion der durchfeuchteten Salze eine Vergrößerung der Zuflusswege erfolgen, was kurzfristig zu einer Vergrößerung der Schüttmengen führt. Nach Flutung oder Stapelung gesättigter Salzlösungen in Grubenbauen erfolgt keine bzw. nur eine unbedeutende Veränderungen deren Chemismus. Untersättigte Salzlösungen bewirken Gesteinsauflösung, die abhängig von den anstehenden Salzen zu einer Aufsättigung der Lösungen führt. Die Auflösung beginnt an den Schichtgrenzen bzw. an bruchtektonisch oder auch geomechanisch beanspruchten Zonen. In welchem Umfang eine Sedimentation von Auslaugungsrückständen die weitere Auflösung salinärer Gesteine vermindert oder unterbindet, lässt sich nur für den konkreten Einzelfall aussagen.

Eingebrachte technische Lösungen verursachen Schwierigkeiten bei der Identifizierung der natürlichen Lösungszuflüsse. Geringe Mengen an Fremdwässern lassen eine Altersbestimmung mittels Tritium nicht mehr zu. Zur Abdichtung von Zuflüssen genutzte Zemente verfälschen die chemische Zusammensetzung der Salzlösungen durch die Bildung von  $\text{CaCl}_2$  jahrzehntelang.

Entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung von Zuflussmenge und Chemismus der Salzlösungen haben die geologischen Verhältnisse im Zuflussbereich. In flacher Lagerung und bei regelmäßiger Ausbildung der Schichten aufgefahrene Grubenbaue sind fast immer salzlösungsfrei. In Gebieten bruchtektonischer Beanspruchung des Salinars werden vermehrt Salzlösungszuflüsse beobachtet. Die größten Zuflussmengen treten auf, wenn Bruchstörungen sich kreuzen und in Zerrungsgebieten liegen. Fehlen diese sind selbst in weiträumig aufgeschlossenen Abbaugebieten keine Salzlösungsvorkommen nachweisbar.

Der Chemismus der Salzlösungen wird von der mineralogischen Zusammensetzung der Kaliflöze bestimmt, mit denen die Lösungen im Kontakt stehen. Die chemische Zusammensetzung der untersuchten Salzlösungen weist große Unterschiede auf, erlaubt aber eine klare Systematik und eine Einteilung in die Typen A bis D, bzw. E, nach  $\text{MgCl}_2$ -Gehalten. Es gibt eine klare Korrelation zwischen der Ausbildung der Salzgesteine und der Tektonik einerseits sowie dem Chemismus der Lösungen andererseits.

Für das Errichten eines Endlagers für radioaktive Abfälle im Salzgestein sind in Mitteldeutschland folgende Bedingungen besonders günstig: Das Gefährdungspotential von Salzlösungszutritten in Salzformationen der flachen Lagerung ist gut abschätzbar. Bereiche mit besonders geringem Gefährdungspotential konnten in dieser Arbeit nachgewiesen werden. Die Steinsalzlagerstätten sind in flacher bis welliger Lagerung und mit regionalen Mächtigkeiten des Staßfurtsteinsalzes von über 500 bis 1200 m im Teufenbereich zwischen 200 m und 1200 m ausgebildet. Regionen mit fehlenden Bruchstörungen im Deckgebirge und im Salinar auf größeren Flächen sind identifizierbar. Mächtige Barrieren gegen wasserführende Schichten im Hangenden und Liegenden sind vorhanden.

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

Veröffentlichung des Abschlussberichtes nach Freigabe durch PTKA-WTE.

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

Der Abschlussbericht umfasst 283 Seiten und wird 2006 als GRS-Bericht 211 mit der ISBN-Nr. 3-931995-78-X gedruckt. Ergebnisse daraus wurden im Rahmen des Abschlussworkshops des Verbundprojekts „Migration von Aktiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“ an der Universität Mainz am 28.- 29. März 2006 von H.-J. Herbert im Vortrag „10 Jahre geochemische Endlagerforschung in der GRS“ vorgestellt.

<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 31.08.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- AP 1: 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.
- AP 2: Entwicklung von Strategien zur Minimierung des Quellterms für die Schadstoffe und systematische Bewertung der verschiedenen Möglichkeiten auf der Basis von geochemischen Modellrechnungen.
- AP 3: Experimentelle Überprüfung der verringerten Schadstoffmobilisierung und Bewertung der Effizienz der Minimierungsstrategien.

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

Die Versuche ELISA 1-5 und die Batch-Versuche 1-5 wurden ausgewertet und miteinander verglichen. Es zeigte sich, dass ELISA-Versuche gegenüber den BATCH-Versuchen und Kaskadenversuchen keine Vorteile aufweisen.

Die ELISA-Versuche wurden mit EQ6 nachgerechnet. Eine Übereinstimmung zwischen Modellierung und Auslaugexperimenten konnte nur nach der Einführung eines Auslaugfaktors erreicht werden. Dieser Faktor beschreibt das tatsächliche Maß der Auslaugung. Bei nicht vollständiger Auslaugung ist der Faktor kleiner als 1. EQ6 geht bei einem vorgegebenen Feststoff-Lösungsverhältnis von vollständiger Auslaugung aus. Der rechnerisch ermittelte Auslaugfaktor sollte experimentell überprüft werden. Um einen realistischen Auslaugfaktor bestimmen zu können, muss ein Verklumpen des Probenmaterials vermieden werden. Es wurden daher weitere Batchversuche mit vier unterschiedlichen Feststoff-Lösungsverhältnissen und Probennahmen nach vier, acht und 12 Wochen geplant und in Angriff genommen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Abschluss und Auswertung der noch laufenden 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 31.08.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 651.132,00 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

Isopiestic Versuche an quecksilber(II)chloridhaltigen Lösungen: Es liegen nun erstmals thermodynamische Daten für ungesättigte Lösungen der Systeme NaCl-HgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, KCl-HgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O sowie MgCl<sub>2</sub>-HgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O vor. In allen Systemen wird eine extreme Abweichung vom idealen Verhalten gefunden, indem die Wasseraktivitäten bei Zugabe von HgCl<sub>2</sub> nicht ab-, sondern zunehmen. Hierin übertreffen die quecksilberhaltigen Lösungen sogar noch die Systeme mit Cadmium und Zink. Die Ursache dürfte in der starken Komplexbildung des Hg<sup>2+</sup>-Ions mit Chlorid sein.

Löslichkeitsversuche im System NaCl-HgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O: Die Versuche füllen eine in der Literatur vorhandene Datenlücke. Die Löslichkeit von HgCl<sub>2</sub> nimmt mit der Konzentration in NaCl-Lösungen linear zu.

Die Titration von arsenithaltigen Lösungen wurde erfolgreich begonnen. Die erhaltenen Werte für die erste Dissoziationskonstante stimmen für NaCl-Lösungen gut mit der Literatur überein. Sie werden jetzt auf andere Konzentrationsbereiche und Salzkonzentrationen ausgedehnt.

Die Löslichkeitsversuche mit Quecksilbersulfat in den Systemen K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HgSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HgSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O und MgSO<sub>4</sub>-HgSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O führten jeweils zu basischen Quecksilbersulfaten, die im Gleichgewicht mit stark sauren Lösungen. Zur thermodynamischen Auswertung müssen die Bodenkörper noch genauer charakterisiert werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fortsetzung der Titration arsenithaltiger Lösungen.

Löslichkeitsversuche mit kupfer(I)chloridhaltigen Lösungen (Wiederholung mit reineren Präparaten).

Isopiestic Versuche an arsenathaltigen Lösungen.

### 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 in verschiedenen Salzlösungen werden weiterhin durchgeführt; eine Beprobung erfolgt z. Zt.

### 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 bearbeitet werden.

Für die Untersuchungen der Al-Systeme bei 25° C scheint eine zeitlich akzeptable Methode entwickelt worden zu sein. 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. Die Auswertung der Ergebnisse wird zeigen, ob eine Wiederholung der Versuche notwendig ist.

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.

### 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 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 beteiligt sich im Teilvorhaben 1 mit dem Composite-Dilatanz-Modell (CDM) an dem Stoffgesetzvergleich. Er verwendet für die semianalytischen Nachrechnungen von Laborversuchen und zur Parameterbestimmung das Programm Mathcad (Fa. MathSoft) sowie für die 2D-Modellrechnungen das Finite-Differenzen-Programm FLAC (Fa. Itasca).

Im Berichtszeitraum wurden die Benchmark-Modellrechnungen zu AP6 abgeschlossen. In AP6a wurde die Spannungs- und Verformungsentwicklung in einem vertikalen Schnitt durch die Umgebung einer Blindstrecke im Bereich der horizontalen Maschinenstrecke EU1 der Grube Sondershausen für einen Zeitraum von 35 Jahren ab der Auffahrung der Strecke berechnet. In AP6b wurde die Verformung eines fiktiven schlanken Pfeilers mit einem Verhältnis Höhe / Breite = 1 in drei verschiedenen Teufenlagen in dem gleichen Staßfurt-Steinsalz der Grube Sondershausen für jeweils 100 Jahre simuliert. Beide Modelle stellen typische Untertagesituationen dar, wobei bei dem Kammer-Pfeiler-Modell aus AP6b die Modellierung der Auflockerung (Dilatanz) bis zum Bruch im Vordergrund stand.

Anschließend hat der Zuwendungsempfänger mit der Verfassung des Einzelberichts über die Ergebnisse in seinem Teilvorhaben begonnen. Daneben hat er zahlreiche Diagramme zum Vergleich der Modellierungsergebnisse der sechs Projektpartner als Basis für die gemeinsame Diskussion auf den Workshops erstellt.

Der Zuwendungsempfänger hat sich an der Vorbereitung und Durchführung dieser Workshops am 02.+03.02., 12.04. und 28.06.2006 beteiligt sowie den Stand des Verbundvorhabens am 03.05.2006 auf dem 7. Projektstatusgespräch des Projektträgers PTKA-WTE im Forschungszentrum Karlsruhe vorgestellt. Anschließend hat er die Textfassung der Präsentation zur Veröffentlichung in einem FZKA-Bericht ausgearbeitet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Bis zum Ende des Vorhabens am 30.11.2006 wird programmgemäß der Ergebnisbericht zum Teilprojekt (AP7) und – gemeinsam mit den anderen Projektpartnern – die vergleichende Zusammenstellung der Stoffgesetze, Verfahren zur Parameterbestimmung und der Ergebnisse der Benchmark-Rechnungen aller Projektpartner (AP8) erstellt werden. Auf der Basis dieser Vergleiche werden Empfehlungen für die Nutzung der Vorhabensergebnisse und die Anwendung der Stoffgesetze erstellt werden (AP9). Diese Arbeiten werden zusammen den Abschlussbericht zum Vorhaben (AP11) bilden. Die Projektpartner planen für den 08. November 2006 die Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung in der BGR Hannover, auf dem die Ergebnisse des Vorhabens einem interessierten Fachpublikum vorgestellt werden (AP10). Außerdem werden die Ergebnisse auf der 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) in zwei Präsentationen und Veröffentlichungen dokumentiert werden (AP11).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Hampel, A., Heemann, U., Schulze, O., Zetsche, F., Pudewills, A., Günther, R., Minkley, W., Salzer, K., Hou, Z., Wolters, R., Düsterloh, U., Rokahr, R., Zapf, D. (2006): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. – Wird veröffentlicht im FZKA-Bericht zum 7. Projektstatusgespräch am 03.+04. Mai 2006 im Forschungszentrum Karlsruhe.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Modellierungen im Teilvorhaben 2 des Verbundvorhabens das Composite-Dilatanz-Modell (CDM). Dieses Modell wurde im ersten Halbjahr 2005 in das FEM – Programm JIFE implementiert und im Berichtszeitraum für die Nachrechnungen der Laborversuche sowie realer (Maschinenstrecke EU1, Sondershausen) und theoretischer Untertagesituationen (Kammer-Pfeiler-Modell) verwendet. Bei der Nachrechnung der vorge-

gebenen Labormessdaten ergaben sich keine nennenswerten Schwierigkeiten, auch nicht bei Auftreten von Bruch und Nachbruchverhalten.

Ebenso ließ sich die Berechnung der EU1-Strecke ohne weiteres durchführen. Hinsichtlich der Modellierung des Kammer-Pfeiler-Modells, bei dem erhebliche Dilatanz sowie Schädigung und Nachbruchverhalten auftreten, ergaben sich allerdings unerwartet große numerische Probleme. Trotz weiterer Verfeinerung der Zeitschritte führten die Algorithmen immer wieder zu einem Abbruch der Berechnung, obwohl bis dahin alle Ergebnisse plausibel waren. Dies konnte durch mehrere Erweiterungen der Algorithmen zwar deutlich verbessert werden, an der grundsätzlichen Problematik änderte sich dabei allerdings nichts.

Es werden derzeit zwei Wege beschritten, um zu einer überzeugenden Lösung zu gelangen. Erstens werden die Versuche mit – bezogen auf die bisherige Praxis – sehr vielen und sehr kleinen Zeitschritten gerechnet, auch wenn die Berechnungen dabei evtl. Rechenzeiten im Wochenbereich benötigen. Zweitens wird die bisherige klassische Strategie, nichtlineare Probleme zu lösen, durch neuere Verfahren (konsistente Matrix) ersetzt. Durch die parallel laufenden aufwändigen Berechnungen soll aber mit dem ersten Weg die Vorlage von Ergebnissen sichergestellt werden.

Der Zuwendungsempfänger hat sich im Berichtszeitraum außerdem an der Vorbereitung und Durchführung der Workshops am 2. und 3. Febr., 12. April sowie am 28. Juni 2006 beteiligt. In Abstimmung mit dem Projektträger und den Projektpartnern wurde die am 8. 11. 2006 stattfindende Abschlussveranstaltung vorbereitet. Im Berichtszeitraum wurden parallel zu den Modellberechnungen die Arbeitspakete 7 und 8 bearbeitet.

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

Bis zum Ende des Vorhabens am 30.11.2006 werden programmgemäß der Ergebnisbericht zum Teilprojekt (AP7) und – gemeinsam mit den anderen Projektpartnern – die vergleichende Zusammenstellung der Stoffgesetze, Verfahren zur Parameterbestimmung und der Ergebnisse der Benchmark-Rechnungen aller Projektpartner (AP8) erstellt. Auf der Basis dieser Vergleiche werden Empfehlungen für die Nutzung der Vorhabensergebnisse und die Anwendung der Stoffgesetze für die effiziente Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz erstellt werden (AP9). Diese Arbeiten werden zusammen den Abschlussbericht zum Vorhaben (AP11) bilden. Die Projektpartner planen für den 08. November 2006 die Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung in der BGR Hannover, auf dem die Ergebnisse des Vorhabens einem interessierten Fachpublikum vorgestellt werden (AP10). Außerdem werden die Ergebnisse auf der "6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt" (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) in zwei Präsentationen und Veröffentlichungen dokumentiert werden (AP11).

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

Hampel, A., Heemann, U., Schulze, O., Zetsche, F., Pudewills, A., Günther, R., Minkley, W., Salzer, K., Hou, Z., Wolters, R., Düsterloh, U., Rokahr, R., Zapf, D. (2006): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. – Wird veröffentlicht im FZKA-Bericht zum 7. Projektstatusgespräch am 03.+04. Mai 2006 im FZ Karlsruhe.

Hampel, A. & Hunsche, U. (2002): Extrapolation of creep of rock salt with the composite model.- In: Basic and Applied Salt Mechanics, Proc. of the 5th Conf. on the Mechanical Behavior of Salt, Bucharest 1999; Hrsg.: N. D. Cristescu, H. R. Hardy, Jr., & R. O. Simionescu; A. A. Balkema Publishers, Lisse, S. 193-202.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- AP 1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP 2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten.
- AP 3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil I).
- AP 4: Durchführung mehrerer Interim-Workshops und weiterer Treffen mit den Projektpartner.
- AP 5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten.
- AP 6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil II).
- AP 7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner.
- AP 8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse.
- AP 9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze/Verfahrensweisen.
- AP 10: Ergebnis-Workshop mit allen Projektpartnern.
- AP 11: 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 am Stoffgesetzvergleich. Der erweiterte Dehnungs-Verfestigungsansatz wird im Folgenden als GÜNTHER/SALZER-Ansatz bezeichnet.

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten zu AP6 (Modellrechnungen, Teil 2) mit beiden Stoffgesetzen abgeschlossen. Dabei wurde zum einen ein vertikaler Schnitt durch die Umgebung der horizontalen Maschinenstrecke EU1 gerechnet (AP6a), zum anderen wurde ein von allen Partnern gemeinsam entworfenes Kammer-Pfeiler-Modell für drei verschiedene Belastungen nachgerechnet (AP6b), die typische Untertagesituationen darstellen und in besonderem Maße die Modellierung der Auflockerung (Dilatanz) mit dem jeweiligen Stoffgesetz demonstrieren. Die Berechnungsergebnisse wurden in standardisierter Form der BGR zur Abfassung des Gesamtberichtes übergeben.

Im Berichtszeitraum wurde weiterhin eine endgültige C++-Version des GÜNTHER-/SALZER-Ansatzes mit Hilfe des UDM-Moduls (für user defined models) fertig gestellt. Dadurch ist eine Nutzung dieses Ansatzes auch im Programmcode UDEC möglich. Entsprechende Verifizierungsrechnungen wurden durchgeführt.

Neben den genannten Arbeiten hat sich das IfG an der Vorbereitung und Durchführung der am 2./3. Februar, am 12. April und am 28. Juni in Hannover durchgeführten Workshops beteiligt. Auf ihnen wurden die Ergebnisse der Parameterbestimmungen und Modellrechnungen vorgestellt und diskutiert. Weiterhin war das IfG bei Vorbereitung und Durchführung der Präsentation des Verbundvorhabens zum 7. Projektgespräch des Projektträgers am 3./4. Mai in Karlsruhe aktiv.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im zweiten Halbjahr 2006 werden die Einzelberichte zu den beiden Stoffansätzen fertig gestellt. Das IfG beteiligt sich weiterhin aktiv am AP8 (Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse), AP9 (Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze und Verfahrensweisen), AP10 (Ergebnis-Workshop) und AP11 (Dokumentation der Ergebnisse).

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

HAMPEL, A., HEEMANN, U., SCHULZE, O., ZETSCHKE, F., PUDEWILLS, A., GÜNTHER, R., MINKLEY, W., SALZER, K., HOU, Z., WOLTERS, R., DÜSTERLOH, U., ROKAHR, R., ZAPF, D. (2006): BMBF-Verbundvorhaben: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. Vortrag zum 7. Projektstatusgespräch (Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen) Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA) Wassertechnologie und Entsorgung am 3. und 4. Mai 2006 in Karlsruhe.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 ist die Verfassung des Einzelberichts über die Ergebnisse begonnen worden. Daneben sind zahlreiche Diagramme und eigene Berechnungsergebnisse der AP2, 3, 5 und 6 in Tabelleform zum Vergleich der Modellierungsergebnisse der sechs Projektpartner als Basis für die gemeinsame Diskussion auf den Workshops und auf dem Projektstatusgespräch erstellt worden.

Neben den genannten Arbeiten haben Mitarbeiter dieses Vorhabens (PD Hou und Dipl. Wolters) an zwei in der BGR Hannover am 02.+03.02., 12.04. und 28.06.2006 durchgeführten Workshops sowie an dem Projektstatusgespräch am 03.05.2006 des Projektträgers PTKA-WTE im Forschungszentrum Karlsruhe teilgenommen. Auf diesen Veranstaltungen wurden die Ergebnisse der oben genannten Modellrechnungen vorgestellt und diskutiert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Bis zum Ende des Vorhabens am 30.11.2006 wird programmgemäß der Ergebnisbericht zum Teilprojekt (AP7) und – gemeinsam mit den anderen Projektpartnern – die vergleichende Zusammenstellung der Stoffmodelle, Verfahren zur Parameterbestimmung und der Ergebnisse der Benchmark-Rechnungen aller Projektpartner (AP8) erstellt werden. Auf der Basis dieser Vergleiche werden Empfehlungen für die Nutzung der Vorhabensergebnisse und die Anwendung der Stoffmodelle erstellt werden (AP9). Diese Arbeiten werden zusammen den Abschlussbericht zum Vorhaben (AP11) bilden. Die Projektpartner planen für den 08. November 2006 die Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung in der BGR Hannover, auf dem die Ergebnisse des Vorhabens einem interessierten Fachpublikum vorgestellt werden (AP10). Außerdem werden die Ergebnisse auf der 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) in zwei Präsentationen und Veröffentlichungen dokumentiert werden (AP11).

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

Hampel, A., Heemann, U., Schulze, O., Zetsche, F., Pudewills, A., Günther, R., Minkley, W., Salzer, K., Hou, Z., Wolters, R., Düsterloh, U., Rokahr, R., Zapf, D. (2006): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. – Wird veröffentlicht im FZKA-Bericht zum 7. Projektstatusgespräch am 03.+04. Mai 2006 im Forschungszentrum Karlsruhe.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

Das vorliegende Teilprojekt 5 beteiligt sich mit dem Stoffgesetz MDCF an dem Stoffgesetzvergleich. Für die semianalytischen Nachrechnungen von Laborversuchen und zur Parameterbestimmung wird das Programm Mathcad und für die Modellrechnungen das Programmsystem UT2D verwendet.

Zu Beginn des Berichtszeitraums wurden weitere Nachrechnungen der Laborversuche mit Asse-Speisesalz (AP3) durchgeführt, im Einzelnen umfassen diese acht einstufige Kriechversuche, drei mehrstufige Kriechversuche mit Entlastungsphase, einen Kriechbruchversuch sowie fünf dehnungsgeregelte Versuche. Die Ergebnisse dieser Benchmark-Rechnungen wurden auf dem Workshop am 02.+03.02.2006 bei der BGR in Hannover vorgestellt. Im Berichtszeitraum wurden außerdem weitere Rechnungen zum Arbeitspaket 6 durchgeführt. Die Simulationen der horizontalen Maschinenstrecke EU1 der Grube Sondershausen für einen Zeitraum von 35 Jahren (Arbeitspaket 6a) konnten innerhalb des ersten Halbjahres abgeschlossen werden. Es wurden auch weitere Berechnungen im Rahmen des Arbeitspaketes 6b durchgeführt, hierbei wurde jedoch festgestellt, dass die Ergebnisse aufgrund des Programmsystems des Berichterstellers keine geometrische Nichtlinearität berücksichtigen kann. Aufgrund dessen sind zum einen die Rechenzeiten für eine Simulation von 100 Jahren sehr hoch, zum anderen erzeugt die Simulation beispielsweise sehr große Verschiebungen bei einer verhältnismäßig geringen Teufenlage.

Im vorliegenden Berichtszeitraum wurde aufgrund dieser Tatsachen begonnen, das Stoffgesetz MDCF in das Programmsystem Flac3D einzubauen. Die Programmierung und Verifizierung befindet sich momentan noch in der Entwicklungsphase, die Arbeiten daran werden voraussichtlich innerhalb des nächsten Berichtszeitraumes abgeschlossen werden können, die Ergebnisse des Arbeitspaketes 6b werden dann nach Möglichkeit nachgereicht.

Der Zuwendungsempfänger hat darüber hinaus die Ergebnisse der bisher vorliegenden Simulationen für eine vergleichende Zusammenstellung übermittelt und mit der Verfassung des Einzelberichts begonnen.

Außerdem wurde an den weiteren Workshops am 12.04.2006 und 28.06.2006 teilgenommen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Bis zum Ende des Vorhabens am 30.11.2006 wird das Stoffgesetz in das Programm Flac3D implementiert und Berechnungen zu AP 6b durchgeführt. Außerdem wird programmgemäß der Ergebnisbericht zum Teilprojekt (AP7) und – gemeinsam mit den anderen Projektpartnern – die vergleichende Zusammenstellung der Stoffgesetze, Verfahren zur Parameterbestimmung und der Ergebnisse der Benchmark-Rechnungen aller Projektpartner (AP8) erstellt werden. Auf der Basis dieser Vergleiche werden Empfehlungen für die Nutzung der Vorhabensergebnisse und die Anwendung der Stoffgesetze erstellt werden (AP9). Diese Arbeiten werden zusammen den Abschlussbericht zum Vorhaben (AP11) bilden. Die Projektpartner planen für den 08. November 2006 die Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung in der BGR Hannover, auf dem die Ergebnisse des Vorhabens einem interessierten Fachpublikum vorgestellt werden (AP10). Außerdem werden die Ergebnisse auf der 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) in zwei Präsentationen und Veröffentlichungen dokumentiert werden (AP11).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Hauck, R. (2001): Tragverhalten tief liegender Salzkavernen bei atmosphärischem Innendruck

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

Der Beitrag des INE, auf den sich der vorliegende Bericht bezieht, konzentriert sich auf die Darstellung und die Dokumentation von Rechenergebnissen und die Parameterbestimmung des Stoffgesetzes in verschiedenen Arbeitspaketen des Projekts. Es wurden die Rechenergebnisse der numerischen Simulation von Laborversuchen (Kriech und Festigkeitsversuche) in den Arbeitspaketen AP4 und AP5 ausgewertet und in tabellarischer Form an den Koordinator zur vergleichenden Zusammenstellung im Rahmen des AP8 weitergeleitet. Darüber hinaus wurden die neuen BGR-Kriechversuche mit Lastwechseln, bei denen die Belastung mehrmals erhöht und dann wieder gesenkt wurde, nachgerechnet und auch die Stoffparameter bestimmt. Zusätzlich wurden zwei transienten Kriechversuche der TU-Clausthal modelliert.

Die Modellrechnungen zur Maschinenstrecke EU1 der Grube Sondershausen (AP6a) wurden bereits im letzten Jahr abgeschlossen. Die erzielten Ergebnisse wurden ebenfalls vorbereitet und für die Bearbeitung im Rahmen des Arbeitspaket AP8 weitergeleitet.

Die im Berichtszeitraum durchgeführten Rechnungen zur komplexen Kammer-Pfeiler-Struktur (AP6b) betrafen im wesentlichen die folgenden Themen:

- Um die numerischen Probleme bei der früheren Modellrechnungen auszuschließen wurde nun die Finite Elemente Diskretisierung des komplexen Kammer-Pfeiler-Modells deutlich verfeinert. Weiterhin wurden die Kontakteffekte zwischen konvergierendem Stoß, First und Sohle explizit simuliert.
- Erweiterung des Stoffmodells von Steinsalz zur Beschreibung des Versagens nach Überschreitung der Festigkeitsgrenze auf Grund von erhöhter Druck- und Zugbelastung.
- Anschließend wurden die erhaltenen Ergebnisse für zwei verschiedene Teufenlagen der Struktur entsprechend den Anforderungen vom AP7 ausgewertet. Die Diagramme wurden erstellt und an den Koordinator für die vergleichende Zusammenstellung der Rechenergebnisse weitergeleitet.

Mit dem Verfassen des Einzelberichts und dem Zusammenstellen der Ergebnisse in Teilvorhaben 6 wurde bereits begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Bis zum Ende des Vorhabens am 30.11.2006 wird programmgemäß der Ergebnisbericht zum Teilprojekt (AP7) und – gemeinsam mit den anderen Projektpartnern – die vergleichende Zusammenstellung der Stoffgesetze, Verfahren zur Parameterbestimmung und der Ergebnisse der Benchmark-Rechnungen aller Projektpartner (AP8) erstellt werden. Auf der Basis dieser Vergleiche werden Empfehlungen für die Nutzung der Vorhabensergebnisse und die Anwendung der Stoffgesetze erstellt werden (AP9). Die Projektpartner planen für den 08. November 2006 die Durchführung einer öffentlichen Abschlussveranstaltung in der BGR Hannover, auf dem die Ergebnisse des Vorhabens einem interessierten Fachpublikum vorgestellt werden (AP10). Außerdem werden die Ergebnisse auf der 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt (22.-25. Mai 2007, BGR Hannover) in zwei Präsentationen und Veröffentlichungen dokumentiert werden (AP11).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Hampel, A., Heemann, U., Schulze, O., Zetsche, F., Pudewills, A., Günther, R., Minkley, W., Salzer, K., Hou, Z., Wolters, R., Düsterloh, U., Rokahr, R., Zapf, D. (2006): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. – Wird veröffentlicht im FZKA-Bericht zum 7. Projektstatusgespräch am 03.+04. Mai 2006 im Forschungszentrum Karlsruhe.

<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 Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheits Gesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2004 bis 30.04.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006
<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 Bentonitdichteelementen. 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 Untertageinsatz zur quantitativen Bewertung von Feuchte- und Dichteprofilen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP1/AP3/AP4/AP7:

Folgende Untersuchungen zur indirekten Bestimmung orts aufgelöster Feuchte- und Dichteverteilungen in porösen, wasseraufnehmender Stoffe auf Basis von Veränderungen der dielektrischen Eigenschaften dieser Stoffe wurden fortgeführt:

- Betrachtungen zum Feuchte- und Dichteverhalten bzw. Porositätsverhalten wasseraufnehmender Stoffe (3-Stoffe Modell: feste(r) Stoff(e) - Luft - Wasser) und die damit verbundenen Auswirkungen auf die dielektrischen Eigenschaften bei Einbringung bzw. Entzug von Wasser (Feuchteänderung) oder Luft (Dichte- bzw. Porositätsänderung).
- Herleitung einer grundlegenden analytischen Beziehung (dielektrische Mischungsformel) zwischen der effektiven, komplexen Dielektrizitätszahl des Stoffgemisches und den dielektrischen Eigenschaften der einzelnen Stoffe, ihrem Anteil am gesamten Stoffgemisch sowie der Struktur des Stoffgemisches.
- Verfahren zum Messen der dielektrischen Eigenschaften eines wasserhaltigen Stoffgemisches bei Änderung von Feuchte und Dichte (Porosität) über einen weiten Frequenz- und Temperaturbereich.

- Rekonstruktion der Volumenanteile der einzelnen Stoffe aus den gemessenen, frequenzabhängigen, komplexen dielektrischen Werten des Stoffgemisches. Bestimmung der volumetrischen Feuchte und der Porosität (Dichte) aus den rekonstruierten Volumenanteilen.

Ausgehend von diesen Grundsatzbetrachtungen zu den dielektrischen Eigenschaften wasseraufnehmender Stoffe wurden an elektrischen Leitungen mit verschiedenen Leitungsgeometrien Untersuchungen zur Änderung des Wellenwiderstandes und der Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Impulses in Abhängigkeit von den dielektrischen Eigenschaften des Materials, das die Leitung umgibt, durchgeführt. Die Ergebnisse führten unmittelbar zu theoretischen und experimentellen Untersuchungen zum Übertragungsverhalten von Impulsen auf elektrischen Leitungen mit in Impulsausbreitungsrichtung unterschiedlich geschichteten verlustlosen und/oder verlustbehafteten Wellenwiderständen. Die mathematische Beschreibung dieses Schichtenmodells, das, je feiner die Schichtung ist, das Feuchte- und/oder Dichteprofil eines Stoffes entlang der Messleitung widerspiegelt, gestattet die Rekonstruktion des Feuchte- und/oder Dichteverlaufs aus dem vorwärts und rückwärts gemessenen TDR-Signals, vorausgesetzt, die Abhängigkeit der dielektrischen Eigenschaften von Feuchte- und Porosität (Dichte) sind für diesen Stoff bekannt. HFS-Simulationen des Schichtenmodells bestätigen die Richtigkeit des Lösungsansatzes.

Untersuchungen zum Gesamtsystem Impulsgenerator/ Spannungsmesser/Multiplexer - Koaxialkabel - Messleitung ergaben, dass das TDR-Messsignal von den Fehlanpassungen der Signalleitung im System Impulsgenerator/ Spannungsmesser/Multiplexer und vom Dämpfungsverhalten des Koaxialkabels, welches den Messimpuls vom Generator hin zur Messleitung und die auf der Messleitung reflektierten Impulse zurück zum Spannungsmesser transportiert, beeinflusst wird. Die Eliminierung dieser Einflüsse kann durch die Definition einer Kalibrierungsebene an der Schnittstelle Koaxialkabelende - Messleitungsanfang erfolgen. Dazu wird die Messkette an der Kalibrierungsebene unterbrochen und das so gemessene Signal als Referenzmesssignal (Kalibriersignal) für die TDR-Messsignalkorrektur benutzt.

Einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten bildeten theoretische und laborpraktische Untersuchungen zum TDR-Auflösungsvermögen von Feuchte- und Dichteänderungen in stark dispersiven Materialien. So ein Material mit sehr hoher Dämpfung ist MgO-Beton, wie er als Ort beton im Verschlussbauwerk im Projekt CARLA (FKZ 02C1204) zum Einsatz kommt. Ziel der Untersuchungen ist u. a., die Einsatztauglichkeit des TDR-Messsystems zur Feuchtedetektion in einem Verschlussbauwerk in Teutschenthal zu überprüfen.

Die Auswertung der Messergebnisse des halbtechnischen Versuchs mit der antiparallelen TDR-Doppelmessleitung im 30-cm-Druckrohr an der Bergakademie Freiberg sowie die Untersuchungen zu den Kalibrierebenen und den dispersiven Materialien haben zur Entwicklung einer neuen Messleitung geführt. Diese ist so konzipiert, dass für die ortsaufgelöste Feuchtedetektion, insbesondere in stark dispersiven Materialien, von beiden Seiten gemessen werden kann, die Kalibrierebenen auf beiden Seiten vorhanden sind und der ortsgenaue Einbau der Messleitung z. B. in die Verschlussbauwerke gewährleistet ist. Die Kalibrierebene an der Schnittstelle Koaxialkabelende - Messleitungsanfang wird durch eine wasserdichte Umschaltbox realisiert. Sie beinhaltet eine mit Epoxydharz vergossene HF-Platine, auf der sich die Wellenwiderstandsanpassung zum Koaxialkabel, eine Coplanarleitung zur Anpassung an die Messleitung und ein 50-Ohm-HF-Umschaltrelais zwischen dem angepassten Koaxialkabelende und der Coplanarleitung befinden.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Fortführung der theoretischen Betrachtungen zum dielektrischen Verhalten von Stoffgemischen (3-Stoffe-Modell) und dem Schichtenmodell zur Rekonstruktion von Feuchte und Dichteprofilen sowie die experimentelle Überprüfung der Ergebnisse.

AP2/AP3: HFS-Simulation der neu konzipierten TDR-Messleitungen (umschaltbare Einzelmessleitung mit Kalibrierebenen) an verschieden strukturierten Materialien, insbesondere an der Schichtung MgO-Beton und Carnallit, und Begleitung der Simulation durch entsprechende Laborversuche.

AP6: Messungen im MFPA-Druckversuchsstand zur Wasserwegigkeit im MgO-Beton und entlang der TDR-Messleitung.

AP7: Fortführung der halbtechnische Versuche im 30-cm-Druckrohr zur Erprobung der neu entwickelten TDR-Messleitung und zur Gewinnung von Messwerten für die hydraulische Modellierung (AP8).

AP8: Hydraulische Modellierungen der Feuchteausbreitung auf der Grundlage von messtechnisch ermittelten Feuchteverteilungen (halbtechnische Versuche, AP7) mit der Zielstellung, die dominierenden Strömungsprozesse in unterschiedlichen Bentonitmaterialien modellhaft abzubilden und die Ergebnisse auf den großtechnischen Maßstab zur Dimensionierung von Verschlussbauwerken zu übertragen.

AP9: Bau eines Funktionsmusters für ein Untertage-TDR-Messsystem mit der entsprechenden Anzahl neuer TDR-Messleitungen für den Großversuch 1 (GV1) im Projekt CARLA (FKZ 02C1204). Anschließend erfolgt der Einbau der Messleitungen in das Verschlussbauwerk in Teutschenthal sowie die Durchführung und Auswertung der Messungen.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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.

Der wirtschaftliche Nutzen ergibt sich für deutsche Unternehmen, indem sie dieses Messverfahren und System nutzen, um in Deutschland oder weltweit Serviceleistungen zu erbringen, die bei Problemen der Erkundung und Bewertung untertägiger Deponien für umweltsensible Stoffe notwendig 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 Monitoring und Geomesssysteme, Mines and More Division

## 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

Die Notwendigkeit eine eigenständige Auswertesoftware für Georadar- bzw. EMR-Bohrlochmessungen zu erstellen, ergibt sich aus der Zielsetzung der richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessung und zwar aus einer allein stehenden Bohrung räumliche Informationen zu gewinnen.

Die Programmierarbeiten an der EMR-Auswertesoftware der BGR mit der Programmbibliothek Qt konnten zügig fortgesetzt werden.

Die grundlegende Vorgehensweise bei der Bearbeitung elektromagnetischer Reflektionsmessungen gliedert sich in die Arbeitsschritte Import der Rohdaten in das softwareeigene Datenformat, Sortieren und Qualitätskontrolle, Datenprocessing zur Qualitätsverbesserung, Picking der Reflektoren, Berechnung der Winkel und Berechnung der migrierten Sektion. Es erfolgt anschließend die Ausgabe der räumlichen Koordinaten der realen Position der Reflektoren. Mit Hilfe einer 3D-Grafiksoftware können dann die Reflexionsflächen modelliert bzw. die einzelnen Reflektoren visualisiert werden.

Die Weiterentwicklung der Software beinhaltet:

- Neustrukturierung der Verzeichnisstruktur
- Skalieren der Radargramme auf jedes gewünschte Niveau.
- Bereitstellung von verschiedenen 1-dimensionalen Filtern
- Beginn der Implementierung der Ausgabefunktionen
- Berechnung der Winkelinformationen
- Beginn der Programmierung der komplexen Spuranalyse

Nach dem der bestehenden Programmcode (mit unterschiedlichen Modularisierungsrealisierungen in verschiedenen Revisionen/Versionen) gesichtet und analysiert wurde konnte dieser größtenteils in eine neue Struktur des Steuer- und Datenerfassungsprogramms eingebunden werden.

Für die Verbesserung der Aussagemöglichkeiten von EMR-Messungen (Radargrammen) wird das Konzept der Horizontverfolgung und –erkennung aus der Seismik, dass an der TU-Clausthal erarbeitet wurde, aufgenommen. Hierbei ist die Nutzung eines neuronalen Netzwerksimulators der an der Universität Stuttgart und Tübingen entwickelt wurde angedacht. Dieser Simulator wird von der Universität Tübingen zur Charakterisierung von Böden in der Bodenkunde eingesetzt.

Die ersten erfolgreichen Testversuche mit dem neuen Antennensystem in der Salzgrube Asse, konnten einige wichtige Anregungen in der Gestaltung der Auswerte- und Datenerfassungssoftware einbringen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Umsetzung des Auswertesystems mit der Qt Bibliothek.
- Ausarbeitung der Struktur der Steuer- und Datenerfassung (einhergehend mit der Hardwareentwicklung)
- Untersuchungen hinsichtlich der Anwendbarkeit der ausgewählten Attribute aus der Seismik auf die Charakterisierung von Radarsignalen.

### 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

#### AP4: Bau und Test des HF-Teils, Demonstrator

Im Mittelpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum standen die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des Tests eines Prototyps des Empfangsantennensystems im Forschungsbergwerk Asse in Kooperation mit den Partnern DMT und BGR. Im Vorfeld wurden zunächst die Komponenten des Empfängers entworfen und aufgebaut. Die Experimente fanden in einem horizontalen Bohrloch auf der 490 m-Sohle des Salzstocks statt. Es wurden Messreihen für eine Profilmessung und eine Drehmessung aufgenommen, weiterhin wurden verschiedene Kombinationen für die Parameter des Empfängersystems getestet. Mit den Versuchen konnten einige Eigenschaften des Empfangssystems erfolgreich verifiziert werden (Resonanzfrequenz, Bandbreite) und Verbesserungsmöglichkeiten aufgetan werden. Die azimutale Richtungssensitivität des Antennensystems konnte ebenfalls untersucht werden und besaß den gewünschten Verlauf. Bei weiteren Experimenten wurde festgestellt, dass die Oberflächenwellenleiterstruktur zur Kommunikation zwischen den Modulen keinen ungünstigen Effekt auf die Funktion des Antennensystems ausübte. Im Berichtszeitraum wurde an einem zirkular polarisierten Mikrowellenkoppler zum Betrieb der Oberflächenwellenleiterstruktur gearbeitet, die zukünftig die Glasfaserstrecken zwischen den Einzelmodulen ersetzen soll. Weiterhin wurde an einer Verbesserung der Theorie zur Beschreibung des Verhaltens der Empfangsantenne gearbeitet.

#### AP5: Erweiterte feldtheoretische Modellierung

Die Modellierung von Störungen in der Schichtstruktur wurde verbessert, validiert und für die Simulierung des Radarsystems verwendet. Betrachtet wurden Systeme, die aus Sende- und Empfangsantenne sowie flächen-, kugel- oder quaderförmigen Diskontinuitäten bestehen können. Zu diesem Zwecke wurden die Diskontinuitäten mittels geeigneter asymptotischer Beschreibungen erfasst. Die Dämpfung des Radarsignals aufgrund von Verlusten in der Umgebung der Antenne wird durch Dämpfungsterme berücksichtigt, die sich aus konkreten Messungen und gegebenen Materialparametern ergeben. Durch die Rechnungen konnte gezeigt werden, dass eine räumliche Auswertung der Bohrlochmessdaten möglich ist, und sich der Einfluss des Bohrloches primär auf eine Verschiebung der Resonanzfrequenzen der Empfangsantenne reduziert.

#### AP6: Bau und Test Analog- und Digitalelektronik

Für den Prototyp wurden unter anderem Module zur Spannungsversorgung und ein dreikanaliges Verstärkermodul aufgebaut. Die gesamte Elektronik wurde in den Träger der Sonde eingebaut und verdrahtet. Die Software für das FPGA wurde in VHDL erstellt, die Mikrocontrollerfirmware wurde in C programmiert. Für die Durchführung der Experimente wurde eine Software unter Microsoft Windows erstellt, mit der die Messdaten aufgenommen werden konnten. Die Auswertung der Messungen hat gezeigt, dass das Messprinzip funktioniert und dass Verbesserungen in der Firmware des Empfängers notwendig sind. Es wurde eine Messmethode entwickelt, um die Exzentrizität der Sonde im Bohrloch zu bestimmen. Ein mögliches Verfahren wird momentan getestet. Es handelt sich dabei um eine Messung bei Frequenzen unterhalb 1 MHz, bei der die vorhandenen Antennen verwendet werden. Des Weiteren wurde an einem System gearbeitet, mit dem die Zeitunsicherheit bei der Datenerfassung verbessert werden kann, was zu einer höheren Signalqualität führt.

Die Datenkommunikation zwischen Kontrollmodul und Oberfläche beeinflusst maßgeblich die Messdauer des gesamten Systems, eine externe Übertragungsgeschwindigkeit von mindestens 1 Mbit/s ist wünschenswert. Aufgrund der vorhandenen Kabeltechnologie, die primär unter mechanischen Gesichtspunkten entwickelt wurde und deren schlechten elektrischen Eigenschaften, wurde eine mögliche Verwendung moderner Datenübertragungsverfahren zur Erreichung der angestrebten Datenübertragungsrate untersucht. Angesichts der Eigenschaften der Kabel bieten sich dabei primär xDSL-Technologien (wie z. B. ADSL) an. Wegen der geringen verfügbaren Abmessungen (Bohrlochdurchmesser) sind dabei keine kommerziellen Lösungen verfügbar. Es wurde zunächst überprüft, ob und wie an vorhandene Standards angelehnte Eigenlösungen entwickelt werden können. Dafür wurde u. a. eine rudimentäre Simulierung einer auf der OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) basierenden Übertragungsstrecke unter Matlab realisiert.

Im Rahmen des Projektes hat Herr Olaf Borchert im Juni 2006 die Konferenz GPR2006 in Columbus, Ohio, USA besucht. Diese Konferenz beschäftigt sich mit der Entwicklung von Bodenradarsystemen. Die Konferenz hat gezeigt, dass weltweit nur wenig an Bohrlochradarsystemen geforscht wird und dass weitere Arbeiten notwendig sind. Kommerzielle richtungssensitive Systeme sind oft nicht verfügbar bzw. nicht mehr auf dem letzten Stand der Technik. Während der Konferenz konnten Kontakte zu anderen Forschern hergestellt werden, die an ähnlichen Themen arbeiten.

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

AP4: Die Arbeiten zur Adaptivität des HF-Frontends werden fortgesetzt. Ein neuer Prototyp wird aufgebaut, um weitere Testmessungen durchführen zu können. Weiterhin wird an einer verbesserten theoretischen Beschreibung des Empfangsantennensystems gearbeitet.

AP6: Um eine größere Empfindlichkeit des Empfängers zu erreichen, wird die gesamte Elektronik weiterentwickelt. Die Arbeiten zur Erkennung einer Exzentrizität der Bohrlochsonde und zur Datenübertragung über das Bohrlochkabel werden fortgesetzt.

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

A. Becker, V. Hansen, „On the calculation of the radiation properties of dipole antennas in cylindrical boreholes considering large scatterers“, German Microwave Conference, Karlsruhe, March 2006.

Olaf Borchert, Albrecht Glasmachers, Michel Aliman, „3D-Borehole Radar Data Acquisition“, 11th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 19-22, 2006, Columbus Ohio, USA.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Deutsche Montan Technologie 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

#### Konstruktion des Empfänger Moduls (RM):

Der Schwerpunkt dieses Arbeitspaketes lag in der Integration der elektronischen Baugruppen in das Empfängermodul. Dieser Abschnitt musste in besonders enger Zusammenarbeit mit dem Projektpartner BUW erfolgen. Einerseits galt es, die Antennenstruktur optimal herzustellen, und andererseits musste ein möglichst großer Raum zur Aufnahme der Baugruppen geschaffen werden.

Um zwischen allen Platinen eine gute Abschirmung zu erreichen und um einen möglichst symmetrischen Aufbau zu realisieren, wurde ein Chassis aus Aluminium/Messing mit drei Kammern entwickelt. An den Stirnseiten dieses Chassis mit einem Durchmesser von 40 mm befinden sich Isolierkörper mit Anschlusselementen für die Antennenstruktur und Führungsnuten zur Fixierung der Koaxialleitungen, die die Verbindung zwischen der Antennenstruktur und den Eingangsverstärkern herstellen. Die Eingangsverstärker werden in der mittleren Kammer

des Chassis montiert. Die gute Fixierung aller Leitungen muss wegen der späteren rauen Einsatzbedingungen stets gewährleistet sein. Außerhalb der Isolierkörper sind Zusatzmodule zur Aufnahme der Stromversorgung und der Datenübertragung montiert. Diese Module entsprechen noch nicht dem endgültigen Design, sondern sind nur für die Untersuchung des Prototypen konzipiert.

Nach Montage aller Baugruppen wird das Chassis durch ein Hüllrohr mit einem Durchmesser von 42 mm verschlossen, wodurch eine vollkommen abgeschirmte Elektronik-Baugruppe erzeugt wird. Diese Baugruppe wird in das zentrale Montageelement (Kupplungsteil) des Empfängermoduls eingesetzt. Auf dieses Kupplungsteil werden die Trägerrohre mit den Antennenstrukturen aufgeschoben und die einzelnen Antennenelemente können mittels Kontaktschrauben mit der Elektronikbaugruppe verbunden werden. Das Kupplungsteil wird beidseitig mit den Druckrohren verschraubt, wodurch die komplette Antennenmontage abgeschlossen ist. An den Enden der Druckrohre befinden sich entsprechende Adapter zur Aufnahme der weiteren Sondensegmente.

#### Aufbau eines Prototypen:

Die oben beschriebene Konstruktion des Empfängermoduls ist prinzipiell auf das Fertigprodukt ausgerichtet, wobei der Optimierungsbedarf in der Testmessung ermittelt wird. Die anderen Sondenkomponenten mussten zu diesem Zeitpunkt als reine Prototypen hergestellt werden. Es handelt sich hierbei um folgende Komponenten:

#### Senderprototyp:

Der Senderprototyp besteht aus einer Avalanche Kaskade. Diese Kaskade wurde mit einem Triggerinterface ausgestattet, welches die Signale aus der Zeitbasis, die zur Zeit über eine Glasfaser Verbindung gesendet werden, entsprechend aufbereitet. Das Gegenstück zu diesem Interface ist direkt an die Zeitbasis gekoppelt.

Eine Batterie-Stromversorgung wurde aus 6 Alkali Mangan Zellen, Größe D, hergestellt, was für den Sender einen Dauerbetrieb von mehr als 12 h zulässt. In Arbeit befindet sich noch eine Baugruppe für ein Energiemanagement im Sender, so dass die Hochspannung für die Avalanche Kaskade während der Standby Zeiten abgeschaltet wird.

#### Datenübertragungsinterface:

Zur Durchführung der Testmessung sollte auf ein Kontrollmodul noch verzichtet werden. Es bestand hierdurch die Notwendigkeit eine direkte robuste Datenübertragung zwischen Registrierrechner und Bohrlochsonde zu schaffen. Zu diesem Zweck wurde eine bidirektionale einadrige Glasfaser Verbindung hergestellt. Industriell verfügbare Baugruppen waren hier auf Grund des relativ hohen Platzbedarfs nicht einzusetzen.

#### Batteriemodul:

Diese Baugruppe nimmt zwei Lithium Zellen mit Lötanschlüssen auf, die innerhalb der Baugruppe fest verdrahtet werden und dann über eine Steckverbindung mit der Sondenstromversorgung verbunden wird. Die Sondereinschaltung ist zur Zeit im Prototyp noch über die Steckverbindung realisiert, wird aber im Endprodukt von außen vorgenommen werden.

#### Registrier- und Steuerrechner:

Die Basis für diesen Rechner lieferte ein lüfterloses kompaktes Motherboard, das zusammen mit einem Display, einer Festplatte und dem Datenübertragungsinterface in ein untertage taugliches Gehäuse eingebaut wurde. In einer späteren Ausbaustufe wird dieses Gehäuse auch noch die Stromversorgung des Kontrollmoduls aufnehmen.

#### Testmessung:

Die oben genannten Arbeiten waren in der Hauptsache ausgerichtet auf eine Testmessung die unter Mitwirkung aller Projektpartner stattgefunden hat. Die Aufgabe der DMT war es hier im Speziellen, alle Komponenten derart vorzubereiten und die Tätigkeiten so zu koordinieren, dass eine Messung in einem horizontalen Bohrloch problemlos abläuft. Die Testmessung wurde auf der Schachanlage Asse auf der 490 m Sohle durchgeführt. Um Umbau und Anpassungsarbeiten während der Testphase durchführen zu können, hat DMT ein Labor/ Messfahrzeug beigestellt, so dass Übertage auch Arbeiten an den Sonderelementen durchgeführt werden konnten.

Die Versuche zeigten, dass die überprüften Eigenschaften den Anforderungen entsprachen. Somit hat auch die mechanische Konstruktion und der Aufbau keinen negativen Einfluss auf die elektrischen Merkmale.

## **4. Geplante Weiterarbeiten**

Es ist an einigen Punkten noch Optimierungsbedarf. Hauptsächlich betrifft das die Handhabung bei der Demontage zum Batteriewechsel und Servicearbeiten.

## **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 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

#### **“Unconfined drying-wetting” Versuche**

Probenherstellung:

- Standard Proctor Bedingung, reines Bentonit (Calcigel) und Bentonit-Sand (Quartz Sand) Mischungen bestehend aus 100 % Bentonit, 50 % Bentonit-50 % Sand und 30 % Bentonit-70 % Sand.
- Hoch verdichtete Bentonit-Sand Mischungen bestehend aus 50 % Bentonit-50 % Sand.

Methoden:

- Axis translation technique (ATT) zur Ermittlung von drying-wetting Kurven bei 20° C
- Vapour equilibrium technique (VET) zur Ermittlung von drying-wetting Kurven bei 20° C und 80° C

Resultate:

- main drying-wetting Kurven
- drying-wetting Kurven für “as prepared conditions”
- Reversibilität des drying-wetting Verhaltens bei 80° C

#### **“One step swelling pressure” Versuche**

Probenherstellung:

- Verdichtete reine Bentonit (Calcigel) Proben mit niedriger bis sehr hoher Dichte (Trockendichten von  $1.1 \text{ Mg/m}^3$  -  $1.5 \text{ Mg/m}^3$ ).
- Verdichtete Bentonit-Sand Mischungen mit einer Zusammensetzung von 50 % Bentonit-50 % Sand mit niedriger und sehr hoher Dichte (Trockendichte der Mischungen von  $1.5 \text{ Mg/m}^3$  –  $2 \text{ Mg/m}^3$ ).

Methodik und Ausrüstung:

Benutzt werden modifizierte UPC Quelldruckzellen. Die Sättigung wird in einem Schritt durch die Zuführung von Wasser erzielt.

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
- Einfluss der Beheizung und des Abkühlens auf den Quelldruck

#### **“Multi-steps swelling pressure” Versuche bei 80° C**

Probenherstellung:

- Verdichtete reine Bentonit (Calcigel) Proben mit niedriger bis sehr hoher Dichte (Trockendichten von  $1.1 \text{ Mg/m}^3$  -  $1.5 \text{ Mg/m}^3$ ).
- Verdichtete Bentonit-Sand Mischungen mit einer Zusammensetzung von 50 % Bentonit-50 % Sand mit niedriger und sehr hoher Dichte (Trockendichte der Mischungen von  $1.5 \text{ Mg/m}^3$  –  $2 \text{ Mg/m}^3$ ).

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 benutzt.

Erwartete 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

a. Fortführung der „Multi-steps swelling pressure“ Versuche

b. “One dimensional compression and rebound tests” (Oedometerversuche):

Hoch verdichtete Bentonit-Sand Mischungen aus 50 % Bentonit-50 % Sand. Modifizierte UPC Oedometer Zelle (Verifikation der Temperaturregelung, Kalibrierung, Versuche bei 80° C), Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen bei 20° C.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

5 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- WP T1 Thermische Prozesse: Einbeziehung thermischer Effekte in die Prozessbetrachtung (Thermomechanik), Temperaturabhängigkeiten von Stoff- und Prozesseigenschaften,
- WP T2 Hydraulische Prozesse: Gasfreisetzung und Gasmigration, Hochdruckbedingungen,
- WP T3 Mechanische Prozesse: Schädigungs- und transiente Deformationsprozesse (Kriechen), Einfluss von Quell- und Schrumpfungprozessen auf das Materialverhalten,
- WP T4 Chemische Prozesse: Einfluss chemischer Effekte auf das mechanische Materialverhalten, chemische Konsolidierung und Schädigung,
- WP T5 Numerische Verfahren: Weiterentwicklung numerischer Berechnungsverfahren für streng gekoppelte Mehrfeld-Probleme (kombinierte partitionierte/monolitische Methoden),
- WP T6 Softwareentwicklung: Objekt-orientierte Implementierung der numerischen Verfahren in GeoSys/RockFlow sowie Erweiterung der Benutzeroberfläche,
- WP T7 Höchstleistungsrechnen: Verbesserung in der Recheneffizienz (Paralleles Höchstleistungsrechnen),

Die Tübinger Arbeitspakete (WP:T1-T4) sind direkt mit den experimentellen Arbeiten in Weimar (WP: W1-W4) verknüpft.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- WP T1: Verifizierung von GS/RF-THM anhand von neuen thermo-mechanischen Benchmarks (GS/RF-Benchmarks), die in Zusammenarbeit mit der BGR entwickelt wurden (Wang et al. 2006)
- WP T2: Entwicklung und Implementierung eines Zwei-Kontinua-Modells für ungesättigte Strömungen in klüftig-porösen Medien (Du et al. 2006),
- WP T3: siehe WP T1
- WP T4: Die Simulation geochemischer mittels einer Schnittstelle zu ChemApp ist nun möglich (siehe Projekt 02C1114). Damit können THMC Probleme unter extremen PTC Bedingungen (hohe Drücke, Temperaturen, Salinitäten) untersucht werden
- WP T6: Die Entwicklung einer neuen C++Element-Klasse für gekoppelte Prozesse wurde abgeschlossen und mit Beispielen für mehrere Problemklassen, z. B. Gasströmung, Konsolidierung, THM-Prozesse belegt (Wang and Kolditz 2006)
- WP T7: Implementierung eines neuen parallelen Gleichungslösers, damit konnte die Recheneffizienz erheblich gesteigert werden. Ergebnisse für THM Modelle auf Höchstleistungsrechnern (Parallel-Vektor-Rechner und Linux-Cluster) für DECOVALEX Szenarien (Wang et al. 2006).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

In der nächsten Projektphase geht es weiterhin um folgende Forschungsarbeiten:

- WP T3/T4: Kontaktmechanik: Analyse des Quell-Kompressions-Kontaktproblems bei Feuchteänderungen (confined swelling). Dafür muss ein hydro-mechanisch gekoppeltes Kontaktproblem erstellt und realisiert werden.
- WP T3/T4: Untersuchung von Kriech-Schädigungsprozessen in Bentonit unter Langzeitbelastung.
- WP T6/T7: Erstellung von realitätsnahen 3-D voll gekoppelten thermo-hydro-mechanischen Modellen und Simulation auf Höchstleistungsrechnern.  
Die experimentellen Ergebnisse aus Weimar (Prof. Schanz) zu Quelldruckversuchen bei verschiedenen Temperaturen werden analysiert.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Du Y, W. Wang, and O. Kolditz, (2006) DUAL-CONTINUA MODEL FOR UNSATURATED FLOW AND APPLICATION TO DECOVALEX TASK D. Geoproc2006, Nanjing, China, GeoSys-Preprint [2006-10], 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, Published Online: 16 May 2006, DOI: 10.1002/nme.1770, vol 68.
- Wang W, M. Xie, T. Nowak, H. Kunz, H. Shao and O. Kolditz (2006) 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, Kemmler D, Adamidis P, Hess M and Kolditz O (2006): Parallelization and vectorization of finite element analysis for THM problems in porous media. Technical Report, in prep., Center for Applied Geosciences, University of Tübingen.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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: Im Rahmen mikromechanischer Untersuchungen wird dem Zusammenhang zwischen Hydratations- bzw. Schwindverhalten des Betons und dadurch verursachter Rissbildungsprozesse nachgegangen. Die hierzu verwendeten Berechnungsansätze basieren auf einer Zweiskalenmodellierung (Mikro-/Makroebene). Dabei werden das stoffgesetzliche Verhalten des heterogenen Werkstoffgefüges sowie mögliche Schädigungsmechanismen mittels eines mikrostrukturellen Modells erfasst. Das Schwindverhalten von Salzbeton der Rezeptur M2 kann durch die Verwendung von Bernburger Schnittsalz anstelle von Haldensalz und die Zugabe von Quellsusätzen auf CaO/MgO-Basis deutlich reduziert werden.
- AP3: Abschluss der Arbeiten.
- AP4: Der In-situ-Test eines Pfropfens aus Gussasphaltblöcken zeigte, dass die Verheilung der Fugen zwischen den Gussasphaltblöcken nur nach langer Zeit (> 4 Monate) und bei sehr hohen Drücken (> 600 kPa) erfolgt. Für die Verbesserung des Dichtverhaltens wurde eine neue Rezeptur eines Mastixasphaltes entwickelt.
- AP5: In Schachtverschlüssen im Steinsalz können Dichtelemente aus modifiziertem Dichtungsasphalt konventionell durch in situ Verdichtung eingebaut werden. Bei Streckenverschlüssen ist der Heißeinbau von Gussasphalt oder die in situ Verdichtung von Asphaltbeton problematisch. Experimentell wurde gezeigt, dass durch die Kombination von moderaten Temperaturen (< 60° C) und Drücken (< 400 kPa) es möglich ist, ein Mauerwerk aus Asphaltsteinen im Laufe von 1-3 Tagen vollkommen fugenfrei zu verbinden ("Monolithisieren" des Dichtkörpers).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Fortsetzung mikromechanischer Betrachtungen und der Untersuchungen zum Schwindverhalten von Salzbeton.
- AP4: Teilbericht.
- AP5: Inbetriebnahme einer halbtechnischen Versuchsapparatur zur Dichtheitsprüfung von Asphaltlementen. Vorbereitung halbtechnischer Versuche zum Test kombinierter Asphalt – Bentonit - Dichtelemente. Erarbeitung eines technischen Vorschlages für den Einbau von Gussasphaltdichtelementen in Streckenverschlüssen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Kudla, W.; Gruner, M.: Streckenverschlüsse: Konzepte und Materialien.

7. Projektstatusgespräch "Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen". Forschungszentrum Karlsruhe. 3.-4. Mai 2006.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Arbeiten der Arbeitspakete 2 und 3 durchgeführt, d. h. es stand die Konzeption des Großversuchs auf dem Forschungsbergwerk Asse und deren Durchführung im Vordergrund.

Es wurden Sensoren für die Messung von Temperatur und Feuchte angefertigt sowie die notwendigen Module für die Verarbeitung, Weiterleitung und Erfassung der Daten. Ebenfalls wurde eine Rechneranbindung der Druckdosen von Firma Glötzl vorgenommen. Die einzelnen Sensoren wurden eingemessen und kalibriert. Der Messrechner wurde für die Übertragung der Daten via Telefonleitung vorbereitet.

Auf dem Forschungsbergwerk Asse wurde der Aufbau der Versuchsanlage installiert. Dazu gehört eine Rotorblasmaschine vom Typ Aliva 265 inklusive Baustoffversorgung über Big Bags, die mit einem Gabelstapler einzeln über den Aufgabetrichter gehängt werden und dann durch einen Auslauf entleert werden. Der Baustoff wird in eine Blasleitung DN 80 eingespeist. Die Leitung hatte anfänglich eine Länge von 35 m und wurde im Versuchsverlauf aufgrund des fortschreitenden Bauwerks bis auf ca. 26 m eingekürzt. Den Abschluss des Blasstrangs bildet ein 3 m langer Benetzungs- und Durchmischungsschlauch. Zwischen Rohr- und Schlauchleitung ist eine Tangentialbenetzungsdüse eingesetzt, die über einen Laugen- und einen Luftanschluss verfügt. An dieser Stelle wird eine Wasser-Nebel-Bedüsung erzeugt und der Baustoff mit Lauge benetzt. Die Sensoren, der Messrechner und die notwendige Peripherie wurden nach unter Tage verbracht, aufgebaut, getestet und an die Telefonleitung angeschlossen. Mit einem Zugriffstest auf den Messrechner vom Institut für Bergbau wurde der Aufbau abgeschlossen und zum Ende des Berichtszeitraums der Großversuch durchgeführt.

Das Versuchsbauwerk wurde blasend in zwei Schichten pro Tag erstellt. Die Leistung während der Versuchsdurchführung lag bei ca. 40 t pro Schicht, wobei die Baustoffversorgung über Gabelstapler und Aufgabetrichter der begrenzende Faktor war. Das Versuchsbauwerk wurde sukzessiv von unten nach oben und von hinten nach vorne mit einem durchschnittlichen Böschungswinkel von 60° aufgebaut. Der Aufbau erfolgte bis unter die Firste und konnte nach visueller Begutachtung auch firstbündig erstellt werden. Der allgemeine optische Eindruck des Versuchsbauwerks ist sehr gut. Die Sensoren sind funktionstüchtig und haben angesprochen, eine Auswertung wurde zum Berichtszeitpunkt noch nicht vorgenommen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im kommenden Berichtszeitraum steht die Datenerfassung und Auswertung im Mittelpunkt. Die aus dem Bauwerk auflaufenden Messdaten der Temperatur-, Feuchte- und Drucksensoren werden in einem Rechner unter Tage in eine Datenbank geschrieben und in regelmäßigen Abständen vom Institut für Bergbau über Modem ausgelesen. Dort findet dann eine Auswertung der Daten statt. Zusätzlich ist geplant aus dem vorderen Bereich des Verschlussbauwerks Kerne zu entnehmen, um Untersuchungen über das Abbindeverhalten, den Zustand des Baustoffs und eventuell freies Wasser bzw. Lauge vorzunehmen. Des Weiteren werden Arbeiten zum Rückbau des Versuchsaufbaus durchgeführt.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), 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 30.09.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- AP1: Zusammenführung der Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T
- Test des ISDA Entwurfs unter PostgreSQL und iterative Verbesserung
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces
- Weiterentwicklung des Designentwurfs für das Nutzerinterface, die Nutzerverwaltung und die Dateneingabe
- 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
  - Auswertung der von GRS durchgeführten Literaturrecherche: Bestellung und gegenseitige Bereitstellung von Literatur
- AP4: Experimentelle Schließung von Datenlücken
- Batchversuche: Sorption von Uran an reinen Mineralien, als Hauptbestandteil von Sandstein und Granit
    - Variation des pH-Wertes bei der Sorption an Quarz und Muskovit
    - Variation der Konzentration bei der Sorption an Quarz zur Ermittlung der Sorptionsisothermen
  - Batchversuche: Sorption von Uran an Mineralgemischen:
    - Variation des pH-Wertes bei der Sorption an Feinsand

### 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 Uran und Blei:
- a) an Muskovit und Feinsand: Sorptionsisothermen (Variation der Uran- bzw. Bleikonzentration)
  - b) an synthetischem Feinsand, bestehend aus Quarz, Muskovit, Hämatit: Variation des pH-Wertes, Sorptionsisotherme
- Festlegung der Parameter für Säulenversuche
- Nach Integration der durch Recherchen erfassten Daten wird das Programm für experimentell notwendige Arbeiten fortlaufend aktualisiert.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Deutsche Montan Technologie 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 30.09.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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  
- Definierung von Nutzerinteressen

AP3: Erweiterung des Datenbestandes  
- Übernahme von recherchierter Literatur

### **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

AP3: Erweiterung des Datenbestandes  
- Dateneingabe in die ISDA-Datenbankstruktur unter Verwendung eines vorläufigen Frontends

### **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 30.09.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- Test des ISDA Entwurfs unter PostgreSQL und iterative Verbesserung

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Fortführung und Aktualisierung der bisherigen Recherchen (s. Halbjahresbericht 2/05), zusätzliche Literaturrecherchen bei:
  - Google Scholar (Sorption + Element + Geo)
  - EAWAG- Literaturdatenbank
  - zusätzliche Einbindung der Abteilungs-Literaturdatenbank
- 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

- Batchversuche mit unterschiedlichen Kontaminanten (Cd, Ni, Pb, Zn) und einem Sandstein- bzw. Granitsystem. Bestätigt hat sich die deutliche pH-Abhängigkeit der Sorption in den untersuchten Systemen. Die ursprünglich für die Erstellung von Isothermen konzipierten Konzentrationsstufen wurden dahingehend modifiziert, dass diese in einem Bereich liegen, der oberhalb der sich mit natürlichem Gestein einstellenden Konzentration liegt und nach Modellrechnungen keine Ausfällungen erwarten lässt.

### 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 datenbankmäßigen Erfassung

AP4: Abschluss laufender und Durchführung weiterer Batch- und Säulenversuche sowie Aufbereitung der Daten für die datenbankmäßige Erfassung  
Nach Integration der durch Recherchen erfassten Daten wird das Programm für experimentell notwendige Arbeiten fortlaufend aktualisiert

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> EnviCon Dr. Veerhoff & Scherschel GdR, Staffelgasse 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 30.09.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- Fertigstellung der grundsätzlichen Struktur der ISDA-Datenbank
- Umsetzung in PostgreSQL mit versuchsweiser Integration einer Benutzerverwaltung (diese verwaltet zunächst nur Benutzerdaten für das Login über die Weboberfläche, kann im weiterem Ausbau als Basis für ein fein granuliertes Rechtesystem dienen)

AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces

- Aufbau eines Mockups (d. h. einfachste Gestaltung und rudimentäre Funktionen) der webbasierten Benutzeroberfläche (aus Gründen der schnelleren Entwickelbarkeit Realisierung unter ColdFusion, einem Applicationserver der Firma Macromedia/Adobe)

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Fortführung und Aktualisierung der bisherigen Recherchen (s. Halbjahresbericht 2/05), zusätzliche Literaturrecherchen bei:
  - Google Scholar (Sorption + Element + Geo)
  - OPAC Universität Bonn
- Auswertung sämtlicher Rechercheergebnisse hinsichtlich Vorhabensrelevanz, Kontaminanten und Gesteins-/Mineralmatrices
- Die recherchierten Literatur liegt teilweise als PDF-Datei und / oder Hardcopy vor

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Ergänzung der Datenbank um Funktionen, deren Notwendigkeit sich beim Aufbau des Frontends ergeben. Soweit möglich sollen datenrelevante Aufgaben (hauptsächlich Konsistenzprüfungen) in der Datenbank selbst realisiert werden und nicht in der Zwischenschicht PHP.

AP2: Ausbau des begonnenen Mockups, das in Kürze Funktionen bereitstellen soll, welche die Verwendung der Datenbank in einfacher Form über das Web zulassen. Damit können die in AP3 und AP4 erfassten Daten bereits frühzeitig die Datenbank eingegeben werden. Darüber hinaus hilft das Mockup beim Finden einer geeigneten Aufteilung der Programmierung zwischen Funktion und Gestaltung. Daran anknüpfend wird die Entwicklung des eigentlichen Frontends weitergeführt.

AP3: Kontinuierliche Erfassung, Auswertung, datenbankmäßige Erfassung und Dokumentation vorhandener und neuer Literatur

### 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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:* An einem Steinsalzblock im Labor des IZFP-D erfolgten weitere Labor-messungen mit verschiedenen Signalformen, Sendespannungen und Messgeometrien zur Optimierung der Messkonfiguration. Die Entwicklung eines bergbautauglichen Leistungsverstärkers mit höherer Leistung wurde fortgeführt.
- Arbeitspunkt 3:* Die Interpretationstechniken zur gemeinsamen Datenverarbeitung von Sonar- und Radardaten wurden weiterentwickelt und an den 2005 in einer Maschinenstrecke der Grube Sondershausen gewonnenen Daten getestet. Mit diesen Bearbeitungstechniken konnte eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses erzielt und kleinräumige Inhomogenitäten in der bergbauinduzierten Auflockerungszone nachgewiesen werden. Die Bearbeitungsergebnisse bestätigen, dass mit dem kombinierten Einsatz beider Methoden sehr gute Voraussetzungen zur hochauflösenden Erkundung des Auflockerungszustandes der Saumzone gegeben sind.
- Arbeitspunkt 4-6:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die In-situ-Messungen sollen im Herbst 2006 in einer Maschinenstrecke der Grube Bernburg mit dem neu entwickelten Leistungsverstärker fortgeführt werden. An diesem Messort soll eine Validierung der Sonar- und Radar- Messergebnisse an Daten von Permeabilitäts- und Verformungsmessungen erfolgen. Gleichzeitig wird die Entwicklung methodenübergreifender Interpretationstechniken zur sicheren Charakterisierung des Auflockerungszustandes in der Saumzone fortgesetzt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Salzgesteinsschichten 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

- Planung und Durchführung einer ersten Evaluierungsmessung im Salzbergwerk Hera (K+S AG), Funktionstest des Equipments unter realen Einsatzbedingungen
- Auswertungen der Messergebnisse aus Hera und Präsentation für K+S AG
- Aufnahme und Aufbereitung von Antennen – Referenzfunktionen der getesteten Antennen zur Einarbeitung in den Datenverarbeitungsfluss
- Vergleich der Messergebnisse mit kommerziellem, schmalbandigem RAMAC-GPR-System (800 MHz-Antenne) zeigt erhebliche Verbesserung des Detailreichtums, Antennen mit Richtwirkung liefern bessere Ergebnisse, nicht-orthogonale Einstrahlung zeigt mehr Details
- Aufbau eines externen, mobilen Schutzgehäuses für die Radarelektronik (Vermeidung langer HF-Kabel, Elektronik nahe den Antennen platzierbar), Daten- und Stromverbindung zum Hauptgeh.
- Evaluierung, Planung und Dimensionierung eines Konzeptes zur automatisierten Positionierung der Antennen (Scannerkonzept): Festlegung auf kreisrund aufgefahrene Teststrecken unter Tage
- Bestellung und Beginn Aufbau des Antennenscanners
- Weiterentwicklung Messsoftware (Datenauszeichnung und Mess-Steuerung)
- Teilnahme an internationaler Konferenz GPR2006 und Präsentation von Entwicklungs- und Messergebnissen von 10/2005 bis 03/2006

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Vollständiger Aufbau des Antennenscanners
- Weitere Messungen in Maschinenstrecken; gemeinsam mit Akustikmessungen des IZFP (voraussichtlich kreisrunde Maschinenstrecke im SBW Bernburg, geplant Ende Juli)
- Fortführung von Tests und Entwicklung von Konzepten zur Bandbreitenerweiterung, integrierter Kalibrierung, Dynamikerweiterung, Messung aller 4 S-Parameter bei 2 Antennenports
- Aufbau eines zweiten Radarbandmoduls und Schnittstellenmodulen, welche entsprechend o. g. Tests modifiziert/dimensioniert werden sollen, z. B. Erweiterung der Messbandbreite auf >12 GHz
- Integration von automatisierten koaxialen Kalibrierverfahren für Messungen mit 2 Antennenports in Hardware und Software
- Weiterentwicklung der Messsoftware unter Einbeziehung der neuen Geräte (Scanner, Radar)
- Tests im Labor: weitere Messung an kleinen Inhomogenitäten/dünnen Spalten, Evaluierung Einstrahlwinkel/Reduktion Oberflächenreflex/Mehrfachreflexe/Clutter
- Auswahl bzw. Entwicklung von relativ kleinen Antennen mit möglichst hoher Richtwirkung
- Weiterführung und Verfeinerung der Antennencharakterisierung; Nahfeldcharakterisierung, Abhängigkeiten von Abstand/Einstrahlwinkel; Kalibrierverfahren, welche Antennen einschließen
- Durchführung weiterer Experimente unter Tage zum Sammeln von realen Messdaten
- Radar-Datenverarbeitung
  - Vorverarbeitung / Datenaufbereitung, Einbeziehung Antennencharakteristiken und Kalibrierung, zeitabhängige Verstärkung, Nutzung erhöhter Messbandbreite
  - Evaluierung von interferometrischen und bildgebenden Verfahren
  - Erstellung eines Detektionskonzeptes und Charakterisierungskonzeptes

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

„Besprechung der Messergebnisse von 01/2006, Schacht HeRa“ (interne Präsentation mit K+S AG und BoRaTec)

„System evaluation of an M-sequence ultra wideband radar for crack detection in salt rock“, wiss. Paper zur 11. internationalen Konferenz GPR 2006, inkl. Präsentation während Konferenz

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 In der gleichen geologischen Umgebung wie die späteren Dammlandorte wurde inzwischen unter Tage ein neues, ausgedehntes Areal aufgeföhren, an dem die im Rahmen des Vorhabens geplanten Großversuche durchgeführt werden sollen und werden. Die detaillierte geologische, mineralogische, geophysikalische und geomechanische Charakterisierung dieser Versuchsorte wurde durchgeführt und stand im Berichtszeitraum vor dem Abschluss. Damit kann die Einordnung der bisher an anderen Ersatzstandorten erzielten Ergebnisse in das Gesamtvorhaben gewährleistet werden. Die Einbaustelle für das Versuchselement für den ersten Großversuch GV1 befindet sich am neuen Experimentalort in der Endaufföhrenung.
- 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.
- AP4 Aufbauend auf den wissenschaftlichen und technischen Ergebnissen, die an untertägigen Ersatzstandorten gewonnen wurden, konnte das Vorgehen bei der „Versiegelung“ frisch aufgeschnittener tachhydritischer Carnalitit-Oberflächen festgelegt und teilweise auch bereits erprobt werden. Es konnte ein Material (Basis: spezielle Bitumen) identifiziert werden, das geeignet zu sein scheint, diese sehr schwierige Aufgabe zu lösen. Derzeit wird daran gearbeitet, die bergbauliche Zulassung des Materials zu erhalten.
- AP5 In speziellen Großbohrlöchern und unter geophysikalischer Kontrolle wurden in situ Untersuchungen begonnen, die der Entwicklung eines Materials auf Gel-Basis mit Depotkomponente dienen. Das Material ist als alternatives bzw. redundantes Material zu dem bereits konzipierten Vorbauelement auf Mineralbasis vorgesehen. Die dabei zur entwickelte geoelektrische 3D-Überwachung des Eindringens von Fluiden in geringdurchlässige Gebirgskörper, kann auch im Großversuch zur Anwendung kommen. Die Untersuchungen am vorgesehenen Bau- und Dichtmaterial MgO-Beton wurden im Hinblick auf die konkrete Vorbereitung der Großversuchs GV1 weitergeföhrt.
- AP6 Mittels numerischer geomechanischer Modellberechnungen wurden die wesentliche Verhaltensweisen des Dammelementes im GV1 prognostiziert und Hinweise auf die bauliche Gestaltung der Versuchbestandteile abgeleitet.
- AP7 Der Beginn des Großversuches GV1 ist für das 2. Halbjahr 2006 geplant. Derzeit erfolgt noch die Herstellung des Gebirgsausbruchs für das Dammelement.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

In den auf den Berichtszeitraum unmittelbar folgenden Wochen erfolgt die Fertigstellung der bergbaulichen Vorbereitungen für den Einbau des Dammelementes des GV1 (Gebirgsausbruch, Belastungszelle etc.). Parallel dazu werden die Mess- und Untersuchungsprogramme fertig gestellt. Der Einbau der Versuchskörper soll in 08/2006 erfolgen; unmittelbar danach beginnt der Großversuch GV1. Die weiteren Schritte werden nach Vorliegen der Ergebnisse des GV1 präzisiert.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Ende Juli 2006 ist der 1. Meilenstein im Vorhaben erreicht. Es ist vorgesehen, die bis zu diesem Zeitpunkt erzielten Ergebnisse in einem ausführlichen Fachbericht zusammenzustellen und sie in einem Workshop am 21.11.2006 vor der interessierten Fachöffentlichkeit zur Diskussion zu stellen. Zu diesem Zeitpunkt (20.11.2006) besteht auch für die Fachöffentlichkeit die Möglichkeit, den Versuchsort des Großversuches GV1 (der sich zu diesem Zeitpunkt wahrscheinlich mitten in der Realisierung befindet) zu besichtigen.

<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 31.01.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

Die Rezeptentwicklungen auf Magnesiabinderbasis, körnigem Steinsalz bzw. Quarzsand und Mehlkorn wurden abgeschlossen, es stehen 3 lastabtragende Systeme mit hoher Steifigkeit (Ersatzkompaktionsmodul  $K_{\text{Ersatz}} = 2 \text{ GPa}$ ) und ein System mit  $K_{\text{Ersatz}} = 1,3 \text{ GPa}$  zur Verfügung. Die interne Zielstellung  $K_{\text{Ersatz}} = 1 - 2 \text{ GPa}$  wurde erreicht. Unter Berücksichtigung der verarbeitungstechnischen Kennwerte wird davon ausgegangen, dass dieser Kompaktionsstatus auch unter In-situ-Bedingungen gewährleistet werden kann.

Die Untersuchungen zur Bestimmung der Fluiddurchlässigkeitsbeiwerte gestalten sich schwieriger als geplant. Bei einer Prüfkörperdimensionierung von  $\varnothing = 100 \text{ mm}$  und  $H = 100 \text{ mm}$  sind selbst nach Sättigungszeiten von 5 Wochen noch Lufteinschlüsse festzustellen, die keinen stationären Strömungszustand ermöglichen. Die z. Zt. vorliegenden Messergebnisse weisen Werte im Bereich von  $k_T = 10^{-11} \text{ m/s}$  auf. Die Prüfkörper zeigen beim Durchströmen mit  $\text{MgCl}_2$ -Lösung Quellerscheinungen, die sich im In-situ-Einbauzustand (triaxiale Einspannung) mit Sicherheit durchströmungsmindernd auswirken, im Laborversuch die Ergebnisse jedoch stark beeinflussen. Zur Aufklärung dieser Phänomene ist eine tiefgründige wissenschaftliche Durchdringung angezeigt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der Kennwertermittlung zur Verbreiterung der Datenbasis mit Schwerpunkt Quellverhalten und Permeabilität.

Überplanung (Einbeziehung der neuen Erkenntnisse aus AP3) und Aufbau der kleintechnischen Versuchsanlage mit den vorgesehenen Instrumentierungen (Druck-Temperaturaufnehmer, Feuchtesensorik und Dehnungsmesseinrichtungen) sowie einer Vorrichtung für Lösungsbeaufschlagung. Zur Austestung werden 2 Systeme, ein quarzsandgestütztes und ein mit Steinsalzkörnung zubereitetes Mörtelsystem eingesetzt.

### 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 31.01.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 143.886,00 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 (AP 3) 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 01/2006 bis 06/2006 sind die experimentellen Untersuchungen gemäß des erstellten Versuchsprogramms an der *Standardrezeptur* fortgeführt worden:

Die Quelldruckverläufe für die Umgebungstemperatur von 20° C sowie 40° C sind an Probekörpern verschiedener Größe (Maßstabseffekt) ermittelt worden (Rohrversuche). Die Ermittlung der Quelldruckverläufe für die *Standardrezeptur* ist somit abgeschlossen. Des Weiteren sind Einaxiale Druckversuche an Probekörpern durchgeführt worden, bei denen die Randbedingungen Temperatur, Abbinde- bzw. Lagerzeit sowie Einspannung während des Abbindens/Lagerns ( $\Delta V = 0$  bzw.  $\Delta V \neq 0$ ) 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 begonnen worden.

Zur Untersuchung der Materialeigenschaften auf mikroskopischer Ebene sind an der *Standardrezeptur* Versuche zur Ermittlung der Porenverteilung (Quecksilberporosometrie) als auch mikroskopische Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskop (ESEM) fortgesetzt worden. Für diese Versuche gilt ebenfalls, dass sie an Probekörpern durchgeführt wurden, die eine unterschiedliche Geschichte hinsichtlich Temperatur, Abbinde-/Lagerzeit sowie Einspannungsgrad während des Abbindens/Lagerns aufweisen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im folgenden Halbjahr ist geplant, die Versuche an der *Standardrezeptur* mit der Durchführung der kleinmaßstäblichen Versuche zur Untersuchung des Kompressionsverhaltens sowie zur Permeabilität zum Abschluss zu bringen. Die im Versuchsprogramm vorgesehenen Versuche, deren Prozeduren bei der *Standardrezeptur* erprobt und z. T. im Laufe der Versuchsdurchführung angepasst wurden, sind entsprechend an den von K-UTEC entwickelten variierten Magnesiabinder-Rezepturen durchzuführen.

Für die künftigen Untersuchungen an den Magnesiabinder-Varianten gilt ebenfalls, dass alle geplanten Versuche zur Untersuchung des Temperatureinflusses an Probekörpern durchgeführt werden, die bei unterschiedlichen Temperaturen (20° C und 60° C, zum Teil auch 40° C) abgebunden haben. Zusätzlich dazu werden die Versuche zu mindestens 2 verschiedenen Zeitpunkten untersucht und zum Teil auch mit unterschiedlichen Einspannungsbedingungen beim Abbinden/Lagern der Probekörper.

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
3. Kompressibilität unter Berücksichtigung der Beanspruchung mit Lauge (Einfluss der Belastungsrichtung)
4. Zuarbeit zu den Technikumsversuchen & Entwurf Messsystem

### 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 31.01.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 (Barrierensystem Asse) wurde vom Verbundpartner K-UTEC eine Weiterentwicklung des Barrierenbaustoffs vorgenommen. Die 4 folgenden Chargen wurden hinsichtlich der Zielstellungen zum Materialverhalten als Erfolg versprechend eingestuft.

- Charge 1: Standartrezeptur
- Charge 2: DBM 2, modifizierte Standartrezeptur
- Charge 3: DBM 3, Rezeptur mit Steinsalz
- Charge 4: DBM 4, Rezeptur mit Quarzmehl

Dem IfG wurden Proben der Chargen 2 bis 4 für Laboruntersuchungen zur Verfügung gestellt (Charge 1 wurde bereits 2005 untersucht). Die Arbeiten konzentrierten sich auf Voruntersuchungen zur Ermittlung des Spannungs-Verformungsverhaltens mit dem Ziel, einen geeigneten Baustoff für den geplanten Technikumsversuch sowie für die Hauptuntersuchungen (Grundlage für die Ableitung von Parametern für numerische Modellrechnungen) auszuwählen. Gegenüber der Rezeptur 29.6 (Barrierensystem Asse) zeigen die Chargen 2 bis 4 ein deutlich günstigeres Spannungs-Verformungsverhalten (höhere Steifigkeit). In modellhaften Berechnungen des Ersatzkompaktionsmoduls wurden Werte von ca. 2 GPa (Zielgröße 1 bis 2 GPa) ermittelt. Die Porositäten der Proben der Chargen 2 bis 4 betragen zwischen 15,2 % und 19,4 % und die Sättigungen mit Lauge zwischen 75 % und 98,4 %.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Das Versuchsprogramm für die Hauptuntersuchungen wurde abgestimmt. Im 3. und 4. Quartal des Jahres 2006 werden Scher- und Zugfestigkeitsuntersuchungen der Kontaktflächen Steinsalz/Sorelbeton und Carnallit/Sorelbeton durchgeführt. Eine Verlängerung der Laufzeit des Projektes vorausgesetzt, sind im ersten Quartal 2007 Laboruntersuchungen zur Ermittlung der physikalischen Eigenschaften, der Steifigkeit und der Festigkeit des kompakten Sorelbetons geplant. Die Prüfkörper für diese Untersuchungen sollen aus dem geplanten Technikumsbauwerk gewonnen werden.

### **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> 01.01.2006 bis 30.06.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 722.135,00 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**

Es wurden weitere Messungen zur Abhängigkeit des Elektrodensignals von Einstab-pH-Elektroden in Abhängigkeit von der Hintergrundsalkonzentration vorgenommen. Untersucht wurden die Systeme  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$  und  $\text{MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ . Hierbei ergaben sich experimentelle Schwierigkeiten, die auf die Anwesenheit von Hydrogensulfationen in schwach sauren Lösungen zurückzuführen sein dürften. Die Messungen müssen unter veränderten Randbedingungen wiederholt werden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Inbetriebnahme des Kapillar-UV-Spektrometers. Entwicklung eines Verfahrens zur Messung von Fe(II)- und Fe(III)-Konzentrationen im Subnanomolar-Bereich.
- Fortführung der spektroskopischen Messungen in chloridhaltigen Lösungen
- Fortführung der Untersuchung der Abhängigkeit der Messspannung von pH-Einstabelektroden von der Hintergrundsalkonzentration

### **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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 632.420,00 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

- Abschluss der Elutionsversuche mit ausgewählten Abfällen und deren Analytik
- 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 differenziertem Redoxmilieu
- Auswertung der bakterientoxischen Untersuchungen: Eine Reihe von Abfällen trägt aktiv zum Sauerstoffverbrauch in einer UTD-Umgebung bei, andere wirken gegenüber Abwasser-Mikroorganismen toxisch

#### AP2: Detailuntersuchungen ausgewählter Systeme mit Analyse von Reaktionsmechanismen

- Test und Inbetriebnahme der Laser-Ablations-Apparatur
- Beschaffung und Inbetriebnahme einer neuen ICP
- Einstellungsverhandlungen bzgl. einer Promotionsstelle im Rahmen dieses Vorhabens (in Kombination mit dem Vorhaben Redoxprognose)

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### AP1: - Abschluss der Eluat-Analytik aus den o. g. Versuchsserien

- Auswahl geeigneter Systeme für Detailuntersuchungen mit Analyse von Reaktionsmechanismen

#### AP2: - Anwendung der Laser-Ablations-Apparatur für Detailuntersuchungen mit 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- AP 1: Vervollständigung der Schädigungsmechanik
- AP 2: In-situ-Untersuchungen zu den Schädigungsauswirkungen in der Salinarbarriere nach starker dynamischer Beanspruchung
- AP 3: Laboruntersuchungen zu den Schädigungsauswirkungen an gewonnenen Bohrkernproben aus der dynamisch beanspruchten Salinarbarriere
- AP 4: Geomechanische Berechnungen zur Dimensionierung von Salinarbarrieren für ein Endlager in der flachen und steilen Lagerung
- AP 5: Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie für die erforderliche Mächtigkeit von Salinarbarrieren zur Erlangung des dauerhaften Einschlusses
- AP 6: Erarbeitung des Abschlussberichtes und Dokumentation der Ergebnisse.

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

- AP 1: Implementierung einer nicht – lokalen Erweiterung in das visko-elasto-plastische Stoffmodell für Salinargesteine auf der Ebene der FISH-Programmierung. Durchführung erster Testrechnungen für einaxiale Zug- und Druckversuche. Die Lokalisierung der Deformationszonen ist weitgehend netzunabhängig.
- AP 2: Herstellung von 2 Sondierungsbohrungen im Leine-Steinsalz über der östlichen Bruchfeldkante und Durchführung von Frac-Messungen und Permeabilitätsmessungen. Die Spannungsmesswerte in diesem Bereich der hangenden Barriere liegen 10 Jahre nach dem Kollaps des Ostfeldes über dem Teufendruck. Die Messwerte stimmen in der Tendenz mit Prognoserechnungen überein.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP 1: Weiterentwicklung der nicht-lokalen Version des visko-elasto-plastische Stoffmodells basierend auf einer Analyse des Einflusses der charakteristischen Länge und des nicht-lokalen Parameters.
- AP 2: Herstellung weiterer Sondierungsbohrungen nach der für 09/2006 geplanten Inbetriebnahme des neuen Grubenlüfters in der Wetterstrecke und Durchführung weiterer Frac- und Permeabilitätsmessungen.
- AP 3: Gewinnung von Bohrkernen im Leine-Steinsalz.

### **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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 (MISES III 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 MISES III
- AP7: Implementierung der zu entwickelnden Porositäts-Permeabilitäts-Beziehung für SVV ins FEM-Programm MISES III

- AP8: Implementierung der Schnittstelle zwischen MISES III 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

Bei einem Treffen zwischen GRS Braunschweig und TUC am 17.01.2006 wurden erste Erfahrungen der in Braunschweig mit SVV hergestellten Prüfkörper besprochen. Ergebnis der Besprechung und der anschließenden Messungen an den SVV-Prüfkörpern war, dass das Projekt so nicht sinnvoll zu Ende geführt werden kann. Die Herstellung nach dem bisherigen Verfahren würde zu lange dauern und die mechanischen Eigenschaften der Prüfkörper sind unzureichend (Auspressen mit Drücken bis zu 52 MPa und Verhältnis Höhe zu Durchmesser nur 1,5:1). Zur Lösung dieses Problems wurde am 17.03 ein Aufstockungsantrag gestellt. Die darin Beschriebene Anlage und die Zellen für die Prüfkörperherstellung in Clausthal nähern sich der Fertigstellung. Mit einem Zell-Prototyp wurde bereits ein erster Prüfkörper produziert und somit seine Dichtigkeit unter Beweis gestellt.

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 die Aufsättigung und Aushärtung kein homogener Prozess ist. Ursache hierfür ist, dass die Lösung bei der Aufsättigung ihre Zusammensetzung ändert und dabei Versatzmaterial transportiert.

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 zweiten Halbjahr 2006 wird die Prüfkörperherstellung aus SVV mit NaCl-Lösung in Clausthal beginnen. Somit steht der Durchführung der Kurzzeitversuche an ausgehärteten SVV-Vollprüfkörpern (AP1), der Kompressionsversuche unter isostatischen Dauerbelastungen (AP2) sowie der Kriechversuche bei einem konstanten Manteldruck von  $\sigma_3 = 3,5$  MPa (AP3) nichts mehr im Wege, wobei nur die Kurzzeitversuche bis Ende 2006 komplett fertig sein werden. Außerdem wird die Einbindung des geochemischen Programms *CHEMAPP* über *EQLINK* in das Programm *FLAC3D* durchgeführt und angetestet. Da das Verhalten von SVV während des Aushärtungsprozesses nicht mit Stoffmodellen für Spritzbeton beschrieben werden kann, wird zudem ein eigenes Stoffmodell entwickelt werden, das den Aushärtungsprozess von SVV ausreichend genau beschreibt.

### 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- AP1.3: Die Probenherstellung für TUC wurde fortgeführt.
- AP3.1 + 3.3: Zur Vorbereitung der Konvertierung von EQLINK von Fortran77 in C++ wurde der bestehende EQLINK-Code vereinfacht. Nicht benötigte Funktionen wurde herausgenommen, die Benennung von Variablen strikt vereinheitlicht und mehr-dimensionale Variablen, wo es ging, in Vektoren umgewandelt (leichtere Portierbarkeit nach C++ und höhere Rechengeschwindigkeit). Dieser Code wurde von ZAG in C++ konvertiert. Die Verantwortung für die weitere Entwicklung dieses Codes liegt nun wieder bei GRS.
- AP2.1: Versuch 1 wurde abgeschlossen und befindet sich in der Wiederholung mit einem anderen Ton. Wie theoretisch zu erwarten war, führt eine höhere Ionenstärke zu einem niedrigeren Quelldruck. In Versuch 2 ist die Voräquilibration abgeschlossen; es läuft die Äquilibration mit NaCl-Lösung. Versuch 3 musste wegen eines geplatzten Ventils abgebrochen werden. Der nach der Voräquilibration gemessene Quelldruck mit NaCl-Lösung passte genau in die Ergebnisse aus Versuch 1. In Versuch 4 ist Voräquilibration abgeschlossen. Der mit CaCl<sub>2</sub>-Lösung gemessene Quelldruck passt mit dem Wert aus Versuch 2 zusammen. Bei vergleichbarer Lösungsnormalität führen CaCl<sub>2</sub>-Lösungen zu höheren Quelldrucken als NaCl-Lösungen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1.1: Prüfkörperherstellung mit SVV/NaCl-Lösung. Untersuchung des Phasenbestandes nach unterschiedlichen Aushärtungszeiten.
- AP1.3: Die Probenherstellung für TUC wird zu Ende geführt.
- AP2.1: Wiederholung des Versuches; voraussichtliche Dauer: 1 Jahr
- AP2.2 + 2.4: Fortführung des Versuches bis zur Gleichgewichtseinstellung (voraussichtlich bis Ende dieses Jahres)
- AP2.3: Dieser Versuch muss neu angesetzt werden. Im Moment kann noch nicht abgeschätzt werden, ob dies bereits in diesem Jahr oder erst 2007 geschehen kann.
- AP3: EQLINK/C++ muss zunächst so modifiziert werden, dass es allgemein verwendbar ist. Diese Schnittstelle funktioniert bereits mit ROCKFLOW. Sie muss für die Anbindung an FLAC (→ TUC) aber noch erweitert werden. Es werden ferner weitere Fallbeispiele mit ROCKFLOW/EQLINK/CHEMAPP und ROCKFLOW/PHREEQC modelliert. Rechenzeiten und Ergebnisse sollen verglichen werden. Im letzten Quartal dieses Jahres wird ein Konzept für die Implementierung von Ionenaustausch in EQLINK/CHEMAPP erarbeitet. Dies ist für reaktiven Stofftransport in Tonen von Bedeutung.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Pro-grammschnittstellen 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, Softwareentwicklung, Modellanwendung auf experimentelle Daten der Projektpartner (Modellvalidierung) sowie der abschließenden gemeinsamen Veröffentlichung der wichtigsten Projektergebnisse.

### API: Modellentwicklung zur Prozessbeschreibung

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen Porositätsänderungen, die durch chemische Prozesse verursacht werden. In diesem Vorhaben stehen chemische Prozesse wie Lösungs- und Fällungsreaktionen im Vordergrund.

### AP2: Programmentwicklung

Im zweiten Arbeitspaket geht es um die programmtechnische Umsetzung der im AP1 beschriebenen C:HM Modellentwicklungen. Die Basis hierfür bildet das Programmsystem GeoSys/RockFlow, das insbesondere im geochemischen Bereich systematisch weiterentwickelt werden soll. Die bisherigen Erfahrungen mit dem in GeoSys/RockFlow bereits integrierten PhreeqC zeigen Grenzen insbesondere bei hochkonzentrierten Lösungen und bei höheren Temperaturen. Daher soll in diesem Vorhaben einer thermodynamischen chemischen Reaktionssimulator wie der geochemische Simulator ChemApp oder EQ3/6 an die Mehrkomponenten-Module von GeoSys/RockFlow direkt angebunden werden. Mit dem Einsatz von ChemApp für typische Salinar-Situationen liegen bei der GRS bereits Erfahrungen vor, so dass von diesem Know-how bei der programmtechnischen Realisierung direkt profitiert werden kann.

### AP3: Modellanwendungen

In diesem Arbeitspaket geht es um den Einsatz des numerischen C:HM Modells zur Analyse der experimentellen Untersuchungen der Projektpartner und wird daher in besonders enger Zusammenarbeit bearbeitet.

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

In dieser Projektphase wurde die Programmentwicklung der Schnittstelle zwischen GeoSys/RockFlow (GS/RF) und dem geochemischen Simulator ChemApp realisiert (AP2). Die neue Schnittstelle GS/RF + ChemApp wurde auf der Basis objekt-orientierter Methoden in der Sprache C++ entwickelt. Dies bedeutete zwar zunächst einen größeren Aufwand als die direkte Verbindung der Programme mittels EQLINK (entwickelt von GRS in FORTRAN). Die objekt-orientierte Schnittstelle ist jedoch langfristig gesehen effizienter und vereinfacht Erweiterungen sowie Wartungen an beiden Programmen GS/RF und ChemApp. Mit der Kopplung zu ChemApp ist GS/RF nun in der Lage, geochemische Reaktionen unter extremen PTC-Bedingungen (hohe Drücke, Temperaturen, Salinitäten) durchzuführen. Zur ersten Verifizierung der Schnittstelle wurde ein Literaturbeispiel erfolgreich herangezogen.

## **4. Geplante Weiterarbeiten**

In der nächsten Projektphase sind folgende Arbeitsschritte geplant:

- Verallgemeinerung der Schnittstelle zur Erleichterung der Schnittstellentwicklungen der Projektpartner,
- Weitere Verifizierung/Validierung der Schnittstelle zwischen GS/RF + ChemApp durch Beispiele mit realitätsnahen und/oder extremen PTC-Bedingungen,
- Weiterentwicklung des Mechanikmoduls zur Verbesserung der Quelldruckberechnungen,
- Anwendung des neuen entwickelten Moduls GS/RF + ChemApp zur Simulation von Experimenten von GRS,
- Alternative Entwicklung einer Schnittstelle zum Geochemiesimulator GEM (Paul-Scherrer-Institut), der im Bereich Nuklide sehr gut ausgewiesen ist, zu Vergleichszwecken.

## **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Xie M, Wang W, de Jonge J and Kolditz O (2006): Numerical modelling of swelling pressure in unsaturated expansive elasto-plastic porous media. *Transport in Porous Media* (accepted).

Xie, M, Bauer S, Kolditz O, Nowak T and Shao H (2006): Non-isothermal multicomponent reactive transport in partially saturated porous media, *J. Contaminant Hydrology*, vol. 83: 122-147.

Mehrere Beiträge zur GeoProc2006, 2<sup>nd</sup> International Conference on Coupled T-H-M-C Processes in Geosystems: Fundamentals, Modelling, Experiments and Applications. Nanjing, May, 2006

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Januar die geoelektrischen Messungen im Bereich eines bekannten Laugenzutrittes fortgesetzt. Die Ergebnisse zeigen gegenüber den früheren Messungen eine Verlagerung der laugenbedingten Widerstandsminima im südlichen Stoßprofil nach Westen. Dies steht vermutlich im Zusammenhang mit einer Laugenansammlung auf der Sohle am westlichen Profilende. Die übrigen Profile an der Firste, am Nordstoß der Wetterstrecke und Südstoß der Hauptstrecke ergaben keine deutlichen Hinweise auf durchfeuchtete Gebirgsbereiche, bis auf eine

minimale Widerstandserniedrigung stoß- bzw. firstnah im westlichen Profilbereich. In die weitere Auswertung werden Modellrechnungen zum Einfluss der konkreten Grubengeometrie einbezogen. Im Bergwerk Sollstedt wurde nach einer Georadar-Vorerkundung an zwei Lokationen durch das GGA-Institut Hannover in Kooperation mit den Projektpartnern ein gemeinsames Referenzprofil an einer Anhydrit-Aufsattelung in der Hauptförderstrecke festgelegt. Auf diesem 400 m langen Profil auf der Sohle der Strecke erfolgten anschließend Messungen mit den Verfahren Seismik und Geoelektrik. Die erste Auswertung der geoelektrischen Daten zeigt im westlichen Profilbereich eine deutliche niederohmige Anomalie, die auf einen laugenführenden Bereich hindeuten könnte. In den seismischen Daten zeichnen sich benachbarte Strecken als klare Reflektoren ab. Es deutet sich aber auch ein Reflektor an, der der Grenze Steinsalz/Anhydrit zuordenbar ist. Ein zweiter möglicher Referenzstandort im Bergwerk Sollstedt wurde in Abstimmung mit den Projektpartnern zunächst zurückgestellt. Sowohl für die Messlokation in Teutschenthal als auch für die im Bergwerk Sollstedt wurden Finite-Elemente-Modelle der Streckenumgebung erstellt, um den Einfluss des Grubengebäudes auf die geoelektrischen Messungen in der Inversion berücksichtigen zu können. Besonders in Sollstedt existiert ein relativ kompliziertes Netz von benachbarten Strecken, die als Hohlräume die Messergebnisse beeinflussen. Weiterhin wurde mit systematischen Untersuchungen zur Wirkung von Leitfähigkeitsanomalien, die sich außerhalb von linienhaften Messprofilen am Stoß einer Strecke befinden, begonnen. Für die Szenarienanalyse zur geophysikalischen Erkundung an typischen Problemzonen wurden synthetische Datensätze für Geoelektrik und Seismik auf der Grundlage eines mit den Projektpartnern abgestimmten gemeinsamen Modells berechnet. Am Referenzstandort Sollstedt wurden Salzgesteinsproben entnommen, an denen im Labor der Wassergehalt bestimmt wird.

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

- Weitere Auswertung der seismischen Messungen an den Standorten Sigmundshall und Sollstedt
- Weitere Auswertung der geoelektrischen Messungen an den Standorten Teutschenthal-Angersdorf und Sollstedt unter Einbeziehung numerischer Modellierungen zur Berücksichtigung der genauen Grubengeometrie
- Durchführung geoelektrischer und seismischer Messungen auf einer zweiten Referenzmessstrecke in Teutschenthal-Angersdorf (voraussichtlich im 3. Quartal 2006)
- Geoelektrik- und Seismikmessungen in einem zweiten, vorerst zurückgestellten Messbereich des Bergwerkes Sollstedt
- 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., Jacobs, F., Krause, Y. (2006): Geoelektrische Messungen in Salzbergwerken.- Proc. 66. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 6.-9.3.2006, Bremen, S. 283-284.

Jacobs, F., Just, A., Serfling, U., Rücker, C., Krause, Y., Wonik, T., Uchtmann, S., Kühnicke, H., Schulze, E., Lindner, U., Schicht, T., Schwandt, A. (2006): Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertearmamentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar.- Proc. 66. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 6.-9.3.2006, Bremen, S. 315-316.

Just, A., Nüsch, A.-K., Schönfelder, W., Rücker, C., Jacobs, F., Krause, Y. (2006): Geoelektrische Messungen in einem ehemaligen Kalibergwerk.- Proc. 66. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 6.-9.3.2006, Bremen, S. 513-514.

<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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Salinargestein 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

Im Bergwerk *Teutschenthal-Angersdorf* wurden auf einer Teilstrecke mit bekanntem Laugenzutritt Georadar-Messungen durchgeführt und ausgewertet. In den Daten zeichnen sich Hinweise auf die Herkunft der Lauge ab.

An zwei Messlokalationen des Bergwerk *Sollstedt* erfolgte zunächst eine Georadar-Vorerkundung. Aus den Ergebnissen wurde in Kooperation mit den Projektpartnern ein gemeinsames Referenzprofil an einer Anhydrit-Aufsattelung in der Hauptförderstrecke bestimmt. Anschließend sind in einem weiteren Einsatz Messungen mit den beiden Verfahren Georadar und Elektromagnetik (EM) auf diesem Profil erfolgt. Um Hinweise auf mögliche Feuchtebereiche zu erhalten, wurden zusätzlich spezielle Georadar-Messungen in Multioffset-Anordnung durchgeführt. Mit der Auswertung und Interpretation der bei den vier genannten Messeinsätzen gewonnenen Daten wurde begonnen. Es zeigen sich Reflexionshorizonte bis in eine Tiefe von 60 m. Erste Vergleiche mit den vorläufigen Ergebnissen der EM-Messungen weisen eine gute Übereinstimmung auf. Die Bearbeitung der Multioffset-Messungen stehen noch aus. Ein zweiter möglicher Referenzstandort im Bergwerk Sollstedt wurde in Abstimmung mit den Projektpartnern zunächst zurückgestellt.

Im März wurde der zweite Wissenschaftler für das Teilprojekt mit dem Aufgabenbereich ‚Entwicklung mathematisch-statistischer Methoden zur Zusammenführen der Ergebnisse aller einbezogenen geophysikalischen Verfahren‘ eingestellt. Die Einarbeitungsphase in die Thematik ist weitgehend abgeschlossen. Die Ergebnisse der Vorgängerprojekte wurden aufgearbeitet, um das Kernproblem der Mustererkennung geophysikalischer Anomalien im Salinar zu analysieren. Daraus resultiert die vorläufige Schlussfolgerung, dass die Anwendung und Modifizierung der der Lerntheorie entlehnten Methode der „Support-Vector- Machines“ für die Anomalienmustererkennung geeignet sein kann. Erste Modellrechnungen belegen die prinzipielle Anwendbarkeit dieser Methode.

Weiterhin wurde zur Modellierung von Problemzonen-Szenarien im Salinar ein erster Modellansatz entworfen und mit den Projektpartnern abgestimmt. Ziel ist die theoretische Validierung und Unterlegung des zu untersuchenden neuen methodischen Ansatzes.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Entnahme von Gesteinsproben an den Referenzstandorten für Laboruntersuchungen (Bestimmung petrophysikalischer Parameter: Dichte, spez. Widerstand, Dielektrizitätskonstante)
- Weitere Elektromagnetik- und Georadar-Messungen auf einer zweiten Referenzmessstrecke in Teutschenthal-Angersdorf (voraussichtlich im 3. Quartal 2006)
- Ergänzungsmessungen in einem zweiten, vorerst zurückgestellten Messbereich des Bergwerkes Sollstedt
- Auswertung der gewonnenen Daten im Hinblick auf Problemzonenortung
- Entwicklung eines neuen mathematischen Ansatzes zur integrierten Auswertung der Ergebnisse aller eingesetzten geophysikalischen Messungen

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

UCHTMANN, S. (2006): Interpretation der Radar-Vorerkundung im Bergwerk Sollstedt; Messeinsatz 25./26.01.2006, 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

- Arbeitspunkt 1:* Auswahl und Charakterisierung von Referenzmessorten
- Arbeitspunkt 2:* Sensorentwicklung hochempfindlicher niederfrequenter Ultraschallaufnehmer
- Arbeitspunkt 3:* Entwicklung bergbautauglicher Sonar-Messtechnik mit hohem Schutzgrad
- Arbeitspunkt 4:* Parametergewinnung, Messkampagnen
- Arbeitspunkt 5:* Weiterentwicklung der Rekonstruktionsverfahren
- Arbeitspunkt 6:* Auswertung des Datenmaterials, Datenfusion
- Arbeitspunkt 7:* Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Arbeitspunkt 1:* In Diskussion mit den Projektpartnern wurde beschlossen, die geophysikalische Erkundung mit Messungen am Referenzstandort Sollstedt in der Hauptförderstrecke (Messbereich A) zu beginnen. In der Folge sollen methodenübergreifende Untersuchungen am Bergwerksstandort Teutschenthal-Angersdorf im Bereich der Überföhrung des westlichen Bruchfeldrandes erfolgen.
- Arbeitspunkt 2:* Konstruktion und Fertigung von 16 Bohrlochsonden für Messungen mit aktivem niederfrequentem Ultraschall und von Akustischer Emission sind abgeschlossen. Für Untersuchungen in Fräslöchern wurden zwei neue Stapelaktuatoren mit dem Durchmesser der Ultraschall-Sensoren gefertigt.
- Arbeitspunkt 3:* Die Softwareentwicklung für das Testmuster des bergbautauglichen 16-kanaligen Ultraschall-Messsystems wurde fortgesetzt.
- Arbeitspunkt 4:* Vom 16.5. bis 2.6. 2006 erfolgten am Messort Sollstedt auf der Sohle der Hauptförderstrecke auf dem Profilabschnitt von -32 m bis +124 m Sonar-Messungen. Die Messbedingungen waren durch Auffüllungen erschwert.
- Arbeitspunkt 5:* Zur Weiterbearbeitung der Ergebnisse des SAFT-Rekonstruktionsverfahrens wurden Filterprogramme entwickelt.
- Arbeitspunkt 6:* Die Messungen im Messbereich A in Sollstedt wurden evaluiert. Mit der für Untersuchungen auf der Sohle angepassten Messtechnik und verbesserten Auswerteroutinen konnten im Teufenbereich bis ca. 60 m hochauflösende Informationen über geomechanische Parameter erhalten werden.
- Arbeitspunkt 7:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im Herbst 2006 sollen die Sonaruntersuchungen in der Grube Teutschenthal-Angersdorf erfolgen. Die Messungen über die westliche Bruchfeldkante sollen mögliche geomechanische Auswirkungen des Gebirgsschlages im Deckgebirge sichtbar machen.

Die Entwicklung des bergbautauglichen 16-kanaligen Sonar-Messsystems wird fortgesetzt.

### 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 891.039,00 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 TU Clausthal am 13. und 14. Juli 2006 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 fort gesetzt. Bei ansonsten gleich bleibenden Randbedingungen, gleiche SVV-Mengen, gleiche Lösung, quasi instantane Flutung und Aufrechterhaltung eines maximalen Laugendrucks von 35 bar über 10 Tage, hängt der Kristallisationsdruck stark von der Vorverdichtung des Ausgangsmaterials ab. Bei einem Ausgangsporenvolumen von 50 % und IP21-Lösung bewegt sich der Kristallisationsdruck in der Regel zwischen 30 und 35 bar. Bei einer Verdichtung des SVV auf einen Porenraum von 45 % steigt dieser Druck auf ca. 60 bar an.

Für die im zweiten Halbjahr 2006 geplanten Versuche in den großen Druckrohren (2 m-Länge und 40 cm Durchmesser) in der Asse wurden die vorbereitenden Arbeiten durchgeführt. Es stehen 4 TÜV-geprüfte Rohre zur Verfügung. Die Versuchsplanung und die Arbeiten zur Erstellung der Betriebspläne wurden abgeschlossen. Es wurden zwei Vorversuche in Druckzellen mit einem mittleren Maßstab durchgeführt. Durch Messungen in einem 1 m-Rohr mit einem Durchmesser von 20 cm wurde überprüft, ob Kalorimetermessungen und theoretische Modellrechnungen zur Temperaturentwicklung belastbar sind. Im Versuch wurde eine Temperaturerhöhung von Umgebungstemperatur auf maximal  $85^\circ\text{C}$  gemessen. Damit muss auch in den Großversuchen in den Druckrohren und in den großkalibrigen Bohrlöchern gerechnet werden. Diese Temperaturerhöhung wurde mit den Ergebnissen der Kalorimetermessungen richtig vorhergesagt. Sie stimmt auch mit der für ein metastabiles Mineralgemisch berechneten Temperaturerhöhung überein, die sich nach der ersten schnellen Reaktion von IP21-Lösung mit SVV einstellt. In den Versuchen konnte weiterhin gezeigt werden, dass der nach der Flutung sehr schnell aufgebaute Temperaturpeak bereits nach 24 Stunden fast bis auf Umgebungstemperatur abklingt. Die Beobachtung der Entwicklungen von Lösungs- und Kristallisationsdruck an drei Stellen des 1-m-Rohres zeigt, dass bereits nach wenigen Tagen der Porenraum durch die Reaktion so stark verkleinert wird, dass trotz des anstehenden Lösungsdrucks von 35 bar keine freier Druckausgleich mehr stattfindet. 20 Tage nach Abschalten des Lösungsdrucks ist die Reaktion noch nicht abgeschlossen. Zwei der Druckaufnehmer zeigen einen Kristallisationsdruck von 30 bar an. Der dritte Druckaufnehmer schwankt noch unregelmäßig zwischen 24 und 30 bar.

Die Vorversuche im Technikum waren damit sehr erfolgreich, Sie geben Anlass zur Hoffnung, dass mit dem Abschluss der Großversuche in den großen Druckrohren in der Asse das SVV-Materialverhalten unter Idealbedingungen genau bekannt und prognostizierbar sein wird. In der sich daran anschließenden Phase der In-situ-Versuche, in den großkalibrigen Bohrlöchern im Carnallit, wird dann im Vergleich das Systemverhalten SVV-Bohrlochverschluss-Gebirge getestet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Es ist noch ein weiterer Technikumsversuch in einem 1-m-Rohr mit einer  $\text{MgCl}_2$ - $\text{CaCl}_2$ -reichen, Tachydrit-gesättigten Lösung vorgesehen. Die Versuche in den großen Druckrohren in der Asse werden begonnen und die Bohrlochversuche vorbereitet.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<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 31.01.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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

Für die voraus gewählten 50 Abfallarten, die vertieft betrachtet werden (zur Auswahl vgl. Zwischenbericht für 2005), wurde eine Datenrecherche zu wichtigen Parametern wie Schadstoffgehalte im Eluat und im Feststoff, chemisch-physikalischen Eigenschaften und Gefahrenmerkmalen durchgeführt. Für die meisten Abfallarten konnten ausreichende Datensätze recherchiert werden, insbesondere für die 9 Abfallarten, die für beispielhafte Modellrechnungen herangezogen werden sollen.

Die im vorherigen Berichtszeitraum begonnenen Arbeiten zur Ermittlung der im Jahr 2003 angefallenen Abfallmassen und ihrer Entsorgungswege wurde abgeschlossen. Lediglich für eine Abfallart (AVV-Nr. 19 01 11) konnten die Daten aus verschiedenen Quellen bisher nicht in Einklang gebracht werden. Hierzu sind weitere Recherchen notwendig.

Arbeitspaket 2

Im Arbeitspaket 2 wurden Entsorgungsverfahren aus folgenden Bereichen beschrieben:

- Versatzbergwerke,
- Aufbereitung zur Rückgewinnung von Wertstoffen,
- Verwendung bzw. Einsatz aufbereiteter Bau- und Abbruchabfälle,
- Immobilisierungsverfahren mit nachfolgender Verwertung im Deponie- und Straßenbau bzw. nachfolgender Deponierung,
- Deponien der Klassen I, II, III und IV,
- thermische Bodenbehandlung, Sonderabfallverbrennung und Abfallmitverbrennung.

Die Arbeiten in diesem Paket sind praktisch abgeschlossen, eine Nachjustierung erfolgt nach Abschluss der Arbeiten am Bewertungsschema.

Arbeitspaket 3

In einem Auswahlverfahren hinsichtlich der relevantesten Abfallarten und Verwertungswege wurden folgende Gesamtszenarien zusammengestellt, die bilanziert werden sollen:

- MVA-Filterstäube: BV (Bergversatz), Zementwerk, DK III, DK IV, Immob. + DK II
- MVA-Aschen (nbü): BV, konventionelle und weitergehende Schlackenaufbereitung + Einsatz im Straßenbau; DK II
- Schlacken aus der SAV: Bergversatz, DK II, DK III, (Immobilisierung)
- Elektrostahlwerksstäube: BV, Wälzverfahren, DK III, Immobilisierung + DK II
- Stäube aus der Edelstahlproduktion: BV, Elektroreduktionsverfahren, DK III
- Gichtgasschlämme: BV, Verwertung im DK-Prozess, DK II, Immob.+ DK II; DK III
- Bodenaushub: BV, thermische Bodenbehandlung, DK III, (biologische Behandlung)
- Kohlenteerhaltige Bitumengemische: BV, Immob. + Straßenbau, Monoverbrennung
- Galvanikschlämme: BV, metallurgisches Verfahren, Immobilisierung + Deponiebau

Arbeitspaket 4

Im Arbeitspaket 4 wurde parallel damit begonnen, Sachbilanzdaten für die ausgewählten Verfahrenskombinationen zu erheben und ein Bewertungsschema zu entwickeln. Ein erster Entwurf eines Bewertungsschemas sieht Wirkungskategorien vor, die bereits in klassischen Ökobilanzen enthalten sind (Treibhauseffekt, Versauerung etc.), und die nach der UBA-Methode zu hierarchisieren sind. Weiterhin wird eine neue Wirkungskategorie entwickelt, die die langfristige Entsorgungssicherheit abbilden soll. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei die Frage, 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. Weiterhin spielt die Toxizitätsbewertung eine große Rolle, da die verschiedenen Schadstoffe ein äußerst unterschiedliches Toxizitätspotenzial aufweisen. Es wird angestrebt, ein Bewertungsmodell anzuwenden, das sich auf den Wasserpfad bezieht. Abschließend wird überprüft, ob die neue Wirkungskategorie nach der Systematik der UBA-Methode zu hierarchisieren ist. Separat betrachtet werden Kosten und Sozialindikatoren.

**4. Geplante Weiterarbeiten**

Beim AP4 sind die Arbeiten fortgeschritten, sie werden im nun laufenden Quartal planmäßig abgeschlossen. Die Besprechung wesentlicher Zwischenergebnisse mit verschiedenen Beteiligten hat sich bewährt. Für August 2006 ist eine weitere Veranstaltung dieser Art vorgesehen, bei der auch die ersten Zwischenstände beim AP4 zur Diskussion gestellt werden.

Die Arbeiten zu AP5 werden aus heutiger Sicht daher ebenfalls plangemäß aufgenommen werden können.

**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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 werden zur Zeit durchgeführt, erste Versuche mit trockenem und feuchtem Gas sind werden durchgeführt, Versuche mit Lauge sind in Vorbereitung.
- AP2: Die Versuche sind bislang mit Asse-Steinsalz 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 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 werden derzeit zur Kopplung an das FEM-Programm MISES3 implementiert.
- 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: Es sollen weitere Versuche mit unterschiedlichen Fluiden durchgeführt werden.
- AP2: Es sollen Prüfkörper aus weiteren Lokationen untersucht werden, insbesondere im Hinblick auf den Schichtungseinfluss 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 Programmerweiterungen.
- 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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**

Auf der Grundlage der bisherigen Untersuchungen im bereits viel ausführlicher untersuchten Magnesiabinder-Oxichlorid-System wurde die Rezeptur analog aus MgO und Inert- bzw. Füllstoffen aufgebaut, jedoch als Anmischflüssigkeit gesättigte MgSO<sub>4</sub>-Lösung verwendet. Dabei konnten keine befriedigenden Festigkeitswerte erzielt werden, die Verarbeitbarkeit war nicht gewährleistet.

Durch die Erhöhung des Verhältnisses MgO:MgSO<sub>4</sub>, sowie den Einsatz von Fließmitteln, Tensiden als Dichtmittel, 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.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weitere Modifizierung der Rezepturen durch Einsatz unterschiedlicher MgO-Typen und Testung 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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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-UTEK). Erfolgsversprechende Baustoffabstimmungen sollen in Folge umfangreicher Eignungsuntersuchungen im Labor unterzogen werden (INW, IBB). Daran schließen sich Handhabungsversuche zur Einbringung und Verarbeitbarkeit der Baustoffe (K-UTEK, IBB) sowie ein kleintechnischer Versuch im m<sup>3</sup>-Bereich an.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Grundlagenuntersuchung zur Optimierung der Magnesiabinder-Alkali-Phosphat-Baustoffe (INW)
- AP 2: Grundlagenuntersuchung zu den Magnesiabinder Oxysulfat-System (K-UTEK)
- AP 3: Gefügeuntersuchung an den Magnesiabindersystemen auf Phosphat- und Sulfat-Basis (INW)
- AP 4: Untersuchungen zu den Eigenschaften der Baustoffe unter geomechanischen Gesichtspunkten (IBB)
- AP 5: Handhabungsversuche (IBB, K-UTEK)
- AP 6: Erprobung optimierter Systeme in einer kleintechnischen Versuchsanlage analog FuE-Projekt 02C1214 (K-UTEK)
- AP 7: Versuchsauswertung, Abschlussberichte, Verwertungskonzept (alle Verbundpartner)

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

Während des Berichtszeitraums wurde an der Automatisierung der Triaxialzelle weiter gearbeitet. Dabei konnten erste Funktionstests am Hydraulikaggregat durchgeführt werden. Für den Funktionstest der Triaxialzelle wurden Probekörper auf der Basis Magnesiumoxid/-chlorid hergestellt.

Für die Anschaffung bzw. Erweiterung neuer bzw. vorhandener Geräte (Prüfstand zur Messung der Durchlässigkeit, Oedometer) erfolgten umfangreiche Literatur- und Internetrecherchen sowie Besprechungen mit verschiedenen Firmen.

Des Weiteren erfolgten Fortbildungen im Bereich der Messtechnik, gleichzeitig verbunden mit Ideen- und Erfahrungsaustausch.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im nächsten Berichtszeitraum wird die Triaxialzelle durch weitere Vorversuche auf ihre Funktionalität und Belastbarkeit geprüft. Dazu werden unter anderem fertig entwickelte Baustoffe der Firma K-UTEC auf der Basis von Magnesiumchlorid verwendet. Da für diese Baustoffe schon Untersuchungsergebnisse vorliegen, dient dies zu allererst als Vergleichsmessung und Bestätigung der Ergebnisse sowie dem sammeln von Erfahrungen im Umgang mit den Baustoffen.

Des Weiteren erfolgt die Einarbeitung in den neuen Prüfstand zur Messung der Durchlässigkeit von Baustoffe bei geringem Druck. Dazu muss der Prüfstand zuerst unseren Anforderungen entsprechend umgebaut werden, d. h. eine Umrüstung von zwei Durchströmmzellen auf drei und mehr und dann erfolgt die Einarbeitung in die Funktionsweise des Gerätes.

Weiterhin sollen erste geomechanische Versuche an den neu entwickelten Baustoffen auf Alkali-Phosphat-Basis des Institutes für Nichtmetallische Werkstoffe erfolgen. Aus den bis dahin untersuchten Proben wird eine Teilauswahl vorgenommen werden und die entsprechenden Baustoff-Systeme in die nächste Phase der Untersuchungen eingebunden.

Ferner werden im Laufe des nächsten Berichtszeitraumes weitere Laborgeräte für die geomechanischen Untersuchungen angeschafft. Auch hier erfolgt zuerst die Einarbeitung in die Funktionsweisen.

### **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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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 Kriecheigenschaften 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**

- Literaturrecherche
- Reaktivität der Magnesia
- Rezepturenentwicklung
- Kalorimeteruntersuchungen
- Kristallzüchtung

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

- die Literaturrecherche wird durchgeführt.
- erste Brennversuche wurden durchgeführt.
- die Einarbeitung in ein neuartiges Verfahren zur Reaktivitätsuntersuchung von Magnesia hat stattgefunden.
- es wurden Mischungen zur Untersuchung der Expansion angesetzt.  
Erste Ergebnisse zeigen, dass eine Expansion durch Anlagerung von Wasser möglich ist. Diese Rezepturen sind jedoch nach bisherigen Erkenntnissen noch nicht hinreichend wasserresistent.
- die Lieferung des Kalorimeters erfolgte leider erst Ende Mai 2006 (statt wie geplant Ende Februar).
- Inbetriebnahme des Kalorimeters wird durchgeführt.
- Kristallzüchtungen verschiedener Phosphate mit dem Ziel ein wasserunlösliches Endprodukt herzustellen werden durchgeführt.

## **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 selbst gebrannten Magnesia, sowie Modifizierung der Brennversuche werden erfolgen
- weitere Einarbeitung in das Kalorimeter wird erfolgen. Es wird noch zusätzliches Equipment benötigt, was angefertigt wird. Die Kalorimeteruntersuchungen dienen zur Erfassung der freigesetzten Wärmeenergie während der Erhärtungsphase.
- die röntgenographische Phasenanalyse der Hydratationsprodukte soll sowohl Aufschluss über die abgelaufenen Reaktionen geben, als auch Möglichkeiten zur Verbesserung der Rezepturen aufzeigen.

## **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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<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: Verbesserung von automatischen radiometrischen Normierungsverfahren durch iterative Algorithmen; Test des Algorithmus anhand von Satellitenaufnahmen über Esfahan (Iran) und FZJ; Vorbereitung einer Veröffentlichung; Entwicklung des Merkmalanalyseprogramms „Separability and Thresholds (SEaTH)“ für objektbasierte Bildanalyse; Demonstration der objektbasierten Änderungsdetektion am Beispiel der iranischen Standorte Arak und Natanz.

Geologische Endlagerung: Teilnahme an der konstituierenden Sitzung der Expertengruppe „Application of Safeguards to Geological Repositories“ bei der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) in Wien; Teilnahme am Projektstatusgespräch zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen im **ESARDA**; Arbeiten an einer Bewertungsmethode für Containment & Surveillance (C/S) Geräte; Vorbereitung und Durchführung der Sitzung der Arbeitsgruppe ‚C/S‘ im Rahmen der Jahrestagung 2006; Teilnahme an den Sitzungen von Steering Committee und Editorial Committee; Nachbereitung des Workshops „Changing the Safeguards Culture“ von Santa Fe.

Zusatzprotokoll: Arbeiten an einem erweiterten Meldesystem; Unterstützung der Betreiber bei der Aktualisierung von Deklarationen (Schulung mit der CAPE-Software); Teilnahme an Aussprachen zwischen BMWi, IAEO, Betreibern und Euratom; Erstellung eines Papiers über Complementary Access-Inspektionen der IAEO.

Unattended Remote Monitoring and Measurement Systems: Mitarbeit bei der Revision der IAEO-Bestrahlungstestprozeduren für elektronische Überwachungssysteme; Vorbereitung und Durchführung einer Projektsitzung zum Digital Unattended Multi-channel Analyzer (DIUM).

Ansätze zur Stärkung der Nichtverbreitung: Herausgabe und Mitarbeit am Buch „Verifying Treaty Compliance“.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fernerkundung: Entwicklung einer automatischen Katalogisierung von Änderungen in Image-Zeitreihen mit Hilfe der IR-MAD (iteratively re-weighted multivariate alteration detection)–Methode; Test mit LANDSAT Bildzeitreihen vom Nevada Test Site; Erweiterung von SEaTH auf nicht annähernd normalverteilte Merkmalsausprägungen; Weiterarbeit an der Charakterisierung von typischen Anlagen des nuklearen Brennstoffkreislaufs.

Geologische Endlagerung: Vorbereitung und Teilnahme am Expertentreffen im Oktober 2006.

ESARDA: Diskussionspapiere für Arbeitsgruppen und Durchführung der nächsten Sitzungen; Teilnahme an den Sitzungen von Executive Board und Editorial Committee; Behandlung des Themas „Methods to determine the performance and assurance of Containment and Surveillance Equipment“; Erstellung von Technical Sheets für ESARDA-Webseite.

Zusatzprotokoll: Unterstützung von BMWi und Betreibern bei ihren Deklarationspflichten.

Managed Access: Abschluss eines Guidelines-Entwurfes; Beratung des BMWi.

Unattended Systems: Vorbereitung der Tests von DIUM, Konzipierung und Implementierung von Authentifizierung und Verschlüsselung bei DIUM.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

R. AVENHAUS, N. KYRIAKOPOULOS, M. RICHARD, G. STEIN (Hrsg.): „Verifying Treaty Compliance“, ISBN-10 3-540-33853-5, ISBN-13 978-3-540-33853-6, Springer Berlin Heidelberg, 2006.

M. STEIN, S. KADNER, B. RICHTER; „Creating a Center of Excellence for the Development of Safeguards Instrumentation“, Proc. 5<sup>th</sup> INMM-ESARDA Workshop „Changing the Safeguards Culture: Broader Perspectives and Challenges“, Santa Fe, 30.10.-02.11.2005, erschienen 2006 auf CD-ROM.

B. RICHTER; „Digital Verification Techniques in the Nuclear Safeguards System: Status and Perspectives“, in: „Verifying Treaty Compliance“; Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006, ISBN-10 3-540-33853-5, ISBN-13 978-3-540-33853-6, S. 531-545.

M. STEIN, B. RICHTER; „A Sustainable Approach for Developing Treaty Enforcement Instrumentation“, in: „Verifying Treaty Compliance“; Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006, ISBN-10 3-540-33853-5, ISBN-13 978-3-540-33853-6, S. 559-571.

T. A. SCHROEDER, W. B. COHEN, C. SONG, M. J. CANTY, Y. ZHIQIANG; „Radiometric calibration of Landsat data for characterization of early successional forest patterns in Western Oregon“, Remote Sensing of Environment 103(1), (2006) 16-26.

I. NIEMEYER, S. NUSSBAUM; „Automatisierte Detektion, Klassifizierung und Visualisierung von Veränderungen auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten“, in: Niemeyer, I., Sroka, A. und R. Wittenburg (Hrsg.): 7. Geokinematischer Tag. Schriftenreihe des Instituts für Markscheidewesen und Geodäsie der TU Bergakademie Freiberg, Heft 2006-1, S. 248-257.



## **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> 01.01.2006 bis 30.06.2006	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.317.055,00 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, FZK/INE, BGR)

### **FuE-Arbeiten zu Ton und Tonstein in den URL Mt. Terri und Bure**

(Vorhaben 02E9531, 02E9773, 02E9834, 02E9894, 02E9914, 02E10045, 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 Radionuklidspesies 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, Radionuclide Retention, Colloid, Microbe)

- 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

#### **Ton/Tonstein**

Bure (MODEX-REP), 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

Im Berichtszeitraum waren 10 Vorhaben in die internationalen Programme zur Untersuchung alternativer Wirtsgesteine eingebunden.

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>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 <span style="float: right;">📖 126</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;">📖 146</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;">📖 170</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;">📖 142</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;">📖 128</span>   |
| 02 C 1074   | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten <span style="float: right;">📖 140</span>  |
| <b>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine</b>                                    |  |
| 02 E 9521   | Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT) <span style="float: right;">📖 16</span>   |
| 02 E 9531   | Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen <span style="float: right;">📖 18</span>  |
| 02 E 9733   | Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein <span style="float: right;">📖 36</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 <span style="float: right;">📖 38</span>                          |
| 02 E 9854   | Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1) <span style="float: right;">📖 60</span>   |

02 E 9965 Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA  80

02 E 10065 Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW - Kurztitel: ISIBEL  100

**Deutsche Montan Technologie GmbH, Am Technologiepark 1, 45307 Essen**

02 C 1094 Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung und Bua der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassung  144

02 C 1154 Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)  156

**Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstraße 7, 72074 Tübingen**

02 C 1114 Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme  148

02 C 1295 Kopplung Numerischer Modelle für C:HM - Transportprozesse, Teilprojekt Uni Tübingen: Validierung Numerischer Modelle für geochemische Prozesse in geotechnischen Dichteelementen  184

**EnviCon Dr. Veerhoff & Scherschel GbR, Staffelgasse 15, 53347 Alfter**

02 C 1174 Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-EnviCon)  160

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

02 E 9803 Untersuchungen zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager  50

02 W 6243 Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen  206

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe**

02 C 1054 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 6  136

02 E 10096 Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado  104

KWA 2003 Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine  210

<b>Forschungszentrum 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)                  | 📖 154 |
| 02 E 9673 | Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen | 📖 26  |
| 02 E 9985 | Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall   | 📖 84  |

<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                    | 📖 162 |
| 02 C 1325 | Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertesystem zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Sonarverfahren | 📖 190 |

<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mit beschränkter Haftung, Schwertnergasse 1, 50667 Köln</b>
--

- |           |   |       |
|-----------|---|-------|
| 02 C 0963 | Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analyseergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands  | 📖 118 |
| 02 C 0973 | Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen  | 📖 120 |
| 02 C 0983 | Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen  | 📖 122 |
| 02 C 0993 | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C und 90° C  | 📖 124 |
| 02 C 1164 | Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)                     | 📖 158 |
| 02 C 1244 | Prognose der Redoxeeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen   | 📖 174 |
| 02 C 1254 | Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD  | 📖 176 |
| 02 C 1285 | Kopplung Numerischer Modelle für C:HM - Transportprozesse, Teilprojekt GRS  | 📖 182 |
| 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 | 📖 14  |
| 02 E 9723 | Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen   | 📖 34  |

<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	44
<b>02 E 9783</b>	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	46
<b>02 E 9813</b>	Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen	52
<b>02 E 9824</b>	Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)	54
<b>02 E 9834</b>	Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT	56
<b>02 E 9844</b>	NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment	58
<b>02 E 9884</b>	Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen	64
<b>02 E 9894</b>	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt	66
<b>02 E 9914</b>	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ	70
<b>02 E 9934</b>	Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)	74
<b>02 E 9944</b>	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2	76
<b>02 E 9954</b>	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager	78
<b>02 E 9975</b>	Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA	82
<b>02 E 9995</b>	Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5	86
<b>02 E 10045</b>	Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure	96
<b>02 E 10055</b>	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL	98
<b>02 E 10075</b>	Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lösungen bei Temperaturen bis 90° C – Kurztitel: FeT90	102
<b>02 E 10106</b>	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado	106

**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  166

**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  130
- 02 C 1234 Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar - Untersuchungen der mechanischen Anforderungen und Eigenschaften  172
- 02 C 1264 Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salinarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss  178
- 02 E 9874 Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation  62
- 02 E 9904 Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein  68

**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  188

**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)  114
- 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  40

**Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Forschungsgelände, 85748 Garching**

- 02 E10005 Auswertung von Modellierungsansätzen zum Gastransport in Tongesteinen (GASTON)  88

- |  |  |
|--|--|
| <b>Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55122 Mainz</b>                                      |  |
| 02 E 9653  | Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit <span style="float: right;">📖 22</span>  |
| <b>Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen</b>       |  |
| 02 C 1214  | Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar <span style="float: right;">📖 168</span>   |
| 02 C 1395  | Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 1 <span style="float: right;">📖 198</span>   |
| <b>Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99423 Weimar</b> |  |
| 02 C 1064  | Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken <span style="float: right;">📖 138</span>   |
| <b>Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Merzhauser Straße 173, 79100 Freiburg</b>           |  |
| 02 E 9793  | Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen <span style="float: right;">📖 48</span>   |
| 02 E 1345  | Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle <span style="float: right;">📖 194</span>   |
| <b>Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 69117 Heidelberg</b>                                |  |
| 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 <span style="float: right;">📖 32</span>                 |
| <b>TU Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg</b>  |  |
| 02 C 1124  | Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke <span style="float: right;">📖 150</span>   |
| <b>TU Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2A, 38678 Clausthal-Zellerfeld</b>                                      |  |
| 02 C 0720  | Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie <span style="float: right;">📖 110</span> |
| 02 C 0952  | Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge <span style="float: right;">📖 116</span>  |
| 02 C 1034  | Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4 <span style="float: right;">📖 132</span>   |
| 02 C 1134  | Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern <span style="float: right;">📖 152</span>   |

- 02 C 1275 Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse, Teilprojekt TUC: Gekoppelte Modellierung des C:HM Verhaltens von selbstverheilendem Salzversatz  180
- 02 C 1355 Weiterentwicklung der EDV-Software INFIL zur Simulation des druckbetriebenen Infiltrationsprozesses von Fluiden in ein nicht permeables Barrieren-Gebirge (Salinar)  196
- 02 C 1405 Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 2  200
- 02 C 1415 Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 3  202
- 02 E 9632 Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein  20
- Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt**
- 02 E 10015 Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein  90
- Technische Universität Ilmenau, Ehrenbergstraße 29, 98693 Ilmenau**
- 02 C 1194 Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthfrequenz-Radar  164
- Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München**
- 02 E 9693 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe  30
- 02 E 9763 Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  42
- 02 E 10035 Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden  94
- 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  28
- 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  112
- Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover**
- 02 C 1044 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5  134
- 02 E 10025 Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung  92

**Universität Leipzig, Ritterstraße 26, 04109 Leipzig**

- 02 C 1305** Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung  186

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

- 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  72