

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

## **PTE Nr. 30**

Bericht über die im zweiten Halbjahr 2005  
vom BMBF und BMWi geförderten FuE-Arbeiten zur  
„Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formatio-  
nen“

Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe  
Wassertechnologie und Entsorgung  
(PTKA-WTE)

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH**  
Februar 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 IX B3 |
| Untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle | BMBF Referat 623   |
| Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung | BMWi Referat IX 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 .....  | 107        |
| 2.3      | W-VORHABEN .....  | 205        |
| 2.4      | BMW I-HAUSVORHABEN .....  | 211        |
| <b>3</b> | <b>Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....</b>  | <b>215</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>  | 📖 62  |
| <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>  | 📖 82  |
| <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>     | 📖 84  |
| <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>                          | 📖 86  |
| <b>02 E 10025</b> | Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung   | <b>Universität Hannover</b>  | 📖 94  |
| <b>02 E 10035</b> | Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorganohuminkolloiden   | <b>TU München</b>  | 📖 96  |
| <b>02 E 10045</b> | Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>     | 📖 98  |
| <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>     | 📖 104 |
| <b>KWA 2003</b>   | Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine  | <b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>                                    | 📖 212 |



## 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>                                | 📖 108 |
| <b>02 C 0912</b> | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</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 Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Karlsruhe</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, Isernhagen</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 |

|                  |   |  |       |
|------------------|---|--|-------|
| <b>02 C 1144</b> | 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 |
| <b>02 C 1154</b> | Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)     | <b>Deutsche Montan Technologie GmbH, Essen</b>                         | 📖 156 |
| <b>02 C 1164</b> | Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)     | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 158 |
| <b>02 C 1174</b> | Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-EnviCon) | <b>EnviCon Dr. Veerhoff &amp; Scherschel GdR, Alfter</b>               | 📖 160 |
| <b>02 C 1244</b> | Prognose der Redoxeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 174 |
| <b>02 C 1254</b> | Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Depositionsfeld einer UTD   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 176 |
| <b>02 C 1264</b> | Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salinarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss      | <b>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>                  | 📖 178 |
| <b>02 C 1275</b> | Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt TUC: Gekoppelte Modellierung des C:HM Verhaltens von selbstverheilendem Salzversatz                          | <b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>                              | 📖 180 |
| <b>02 C 1285</b> | Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt GRS: Laborversuche und Geochemische Modellierung   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 182 |
| <b>02 C 1295</b> | Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt Uni Tüb: Validierung Numerischer Modelle für geochemische Prozesse in geotechnischen Dichteelementen         | <b>Eberhard-Karls-Universität Tübingen</b>                             | 📖 184 |
| <b>02 C 1345</b> | Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle   | <b>Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Freiburg</b>  | 📖 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 9551</b> | Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 20  |
| <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>                              | 📖 22  |
| <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>                            | 📖 24  |
| <b>02 E 9663</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>IIF e.V., Leipzig</b>   | 📖 26  |
| <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>                      | 📖 28  |
| <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>                         | 📖 30  |
| <b>02 E 9693</b> | Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Quantenmechanische Modellierung der Komplexbildung von Actiniden durch Huminstoffe  | <b>TU München</b>  | 📖 32  |

|                  |   |  |      |
|------------------|---|--|------|
| <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>                           | 📖 34 |
| <b>02 E 9723</b> | Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 36 |
| <b>02 E 9733</b> | Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein   | <b>DBE Technology GmbH, Peine</b>                                      | 📖 38 |
| <b>02 E 9743</b> | Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö | <b>DBE Technology GmbH, Peine</b>                                      | 📖 40 |
| <b>02 E 9753</b> | Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radionucliden   | <b>IIF e.V., Leipzig</b>   | 📖 42 |
| <b>02 E 9763</b> | Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  | <b>TU München</b>  | 📖 44 |
| <b>02 E 9773</b> | Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 46 |
| <b>02 E 9783</b> | Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 48 |
| <b>02 E 9793</b> | Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  | <b>Öko-Institut e.V., Freiburg</b>                                     | 📖 50 |
| <b>02 E 9803</b> | Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager  | <b>FZ-Jülich</b>   | 📖 52 |
| <b>02 E 9813</b> | Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 54 |
| <b>02 E 9824</b> | Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 56 |
| <b>02 E 9834</b> | Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 58 |

|            |  |   |      |
|------------|--|---|------|
| 02 E 9844  | NF-PRO5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment   | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 📖 60 |
| 02 E 9874  | Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation   | IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig                  | 📖 64 |
| 02 E 9884  | Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen  | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 📖 66 |
| 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 | 📖 68 |
| 02 E 9904  | Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein  | IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig                  | 📖 70 |
| 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 | 📖 72 |
| 02 E 9924  | Verbundprojekt: Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Humin-Metall-Komplexierung (Teil Antrag im Verbund „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“) | Universität Potsdam   | 📖 74 |
| 02 E 9934  | Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)   | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 📖 76 |
| 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 | 📖 78 |
| 02 E 9954  | Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager  | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 📖 80 |
| 02 E 9984  | Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall   | FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden                      | 📖 86 |
| 02 E 9995  | Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5   | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 📖 88 |
| 02 E 10005 | Auswertung von Modellierungsansätzen zum Gas-transport in Tongesteinen (GASTON)  | Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Garching      | 📖 90 |

- |                   |   |  |   |
|-------------------|---|--|---|
| <b>02 E 10015</b> | Untersuchungen zum Gastransport in der Auflocke-<br>rungszone in einem geologischen Endlager in Tonge-<br>stein                                       | <b>Technische Universi-<br/>tät Darmstadt</b>  |  92  |
| <b>02 E 10055</b> | Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren<br>Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung<br>von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL | <b>Gesellschaft für An-<br/>lagen- und Reaktor-<br/>sicherheit (GRS)<br/>mbH, Köln</b> |  100 |
| <b>02 E 10065</b> | Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren<br>Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung<br>von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL | <b>DBE Technology<br/>GmbH, Peine</b>  |  102 |

### 1.3 Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung

- |                  |   |                                      |       |
|------------------|---|--------------------------------------|-------|
| <b>02 W 6232</b> | Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen | <b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b> | 📖 206 |
| <b>02 W 6243</b> | Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen                   | <b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b> | 📖 208 |



## **2 Formalisierte Zwischenberichte**

### **2.1 E-Vorhaben**

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln  |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9390</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien  |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2000 bis 31.12.2007  |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>400.592,58 EUR   |  | <b>Projektleiter:</b><br>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**

Im Dezember 2005 wurden aus den drei Filterrohren um den Erhitzer Gasproben zur Analyse mit den im Felslabor Grimsel installierten Gaschromatographen entnommen. Hierbei zeigte sich, dass in den Filterrohren nur noch Gas vorlag. Offensichtlich ist der Versatz um die Filterrohre wassergesättigt, das Wasser ist im Ton gebunden und wird nicht mehr an die Filterrohre abgegeben. Die Analysen der entnommenen Gasproben zeigten einen leichten Anstieg der Komponenten Wasserstoff, Kohlendioxid und der Kohlenwasserstoffe sowie eine geringe Abnahme an Sauerstoff. In den Filterrohren konnte weiterhin kein Druckaufbau registriert werden.

Injektionstests zur Ermittlung der Gaspermeabilität wurden ebenfalls im Dezember 2005 durchgeführt. Obwohl eine genauere Auswertung noch aussteht, ist bereits aus den Druckverläufen zu erkennen, dass sich gegenüber der letzten Messung im Dezember 2004 wenig verändert hat. Diese Messung hatte gezeigt, dass der Bentonit auch in Erhitzernähe inzwischen teilgesättigt ist, wobei die effektiven Gaspermeabilitäten bei  $10^{-18}$  bis  $10^{-17}$  m<sup>2</sup> lagen.

### **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><br>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine  |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9521</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)  |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2001 bis 30.06.2006   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>355.414,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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: keine

AP2: keine

AP3: Für eine Streckenabdichtung im Salz, wie sie im Rahmen der Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben geplant ist, wurde das angestrebte und das nachweisbare Sicherheitsniveau im Bezug auf die parallel geschalteten hydraulisch wirksamen Einzelkomponenten Salzbetonkörper, Kontaktzone zwischen Betonkörper und Streckensaum und Auffahrungszone im Salz untersucht. Dabei wurden festgestellt:

a) Für den Salzbetonkörper können die meisten Einwirkungen wie in den Eurocodes vorgeschrieben behandelt werden. Dies gilt nicht für den Nachweis der Dauerhaftigkeit/Langzeitsicherheit.

b) Die Kontaktzone zwischen Salzbetonkörper und Streckensaum kann bei qualitativ hochwertiger Ausführung analog zum Betonkörper behandelt werden. Die Qualität der Kontaktzone ist zwar geringer als die des Betonkörpers aber hinreichend im Sinne der Anforderungen.

c) Für die Auflockerungszone lässt sich im Sinne der Eurocodes kein nachweisbares Sicherheitsniveau angeben, da die Datenlage dies insbesondere bei Einwirkung hoher hydraulischer Gradienten nicht zulässt.

AP4: Die Zusammenstellung von Daten zu konventionellen Risiken wurde weitergeführt.

AP5: noch nicht begonnen

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Arbeitspaket abschließen.

AP2: Untersuchung von Einzelbarrieren fortsetzen.

AP3: Zusammenstellung quantitativer Daten und Bewertung von Einzelbarrieren weiterführen.

AP4: Weiterführung der methodischen Arbeiten zur Bestimmung von Teilsicherheitsbeiwerten, da deren quantitative Bestimmung auf Grund der teilweise unzureichenden Datenbasis lückenhaft bleibt.

AP5: Zusammenstellung aller Ergebnisse, Dokumentation und zusammenfassende Bewertung

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9531</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen   |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2001 bis 31.07.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>800.566,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 führt 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. Im Rahmen des Versuches wurde ein faseroptisches Extensometer und eine Temperaturfaser in einer horizontalen Bohrung senkrecht zu den zwei Erhitzern installiert. Im März 2005 wurden die beiden Erhitzer abgeschaltet und seit dem wird das Verhalten des Gebirges während der Abkühlung beobachtet. Die kontinuierliche Aufzeichnung der Messwerte wurde im Berichtszeitraum fortgesetzt. Im November erfolgte der komplette Abbau der faseroptischen Messanlage.

Parallel zur Datenerfassung erfolgten weitere begleitende thermo-hydro-mechanische Modellierung des Versuches unter besonderer Berücksichtigung der Abkühlphase. Mit den gekoppelten THM-Modellierungen konnten allerdings nicht alle Phänomene zufrieden stellend nachvollzogen werden. Insbesondere aufgetretene mechanische Effekte in Erhitzernähe ließen sich mit den angewendeten Kontinuums-Modellen nicht erklären. Dies wurde auch von der spanischen Modellierungsgruppe (UPC) bestätigt. Um unter anderem diesem Phänomen nachzugehen, wurden seitens ANDRA zwei weitere Bohrungen in den erhitzten Gesteinsbereich gestoßen. Ziel ist es, zu prüfen, ob erkennbare Veränderungen, insbesondere Rissbildung, am Gestein feststellbar sind.

Im Untertagelabor in Bure wurde in diesem Jahr im Rahmen des REP-Versuches die Gebirgsantwort auf den Abteufprozess des Schachtes durchgeführt. Die Aufzeichnung der Extensometer-Messdaten wurde fortgeführt. Auch dieser Versuch wurde im Berichtszeitraum mittels numerischer Modellierungen begleitet, um das Gesteinsverhalten zu analysieren und zu beschreiben. In den bisher durchgeführten HM-Berechnungen werden die gemessenen Deformationen im Modell unterschätzt, während die Porenwasserdrücke leicht überschätzt werden. Hierzu sind noch eine Reihe weiterer Berechnungen notwendig, um eine geeignete Anpassung zu erzielen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Erstellung eines Berichtes zur numerischen Analyse des HE-D Versuches in Mont Terri als Beitrag für den von ANDRA zu erstellenden Synthese-Report.

Weiter kontinuierliche Datenaufzeichnung der Verformungen als Reaktion auf den Schachtvortrieb im Rahmen des REP-Experimentes in Bure bis voraussichtlich April 2006. Weiter analysierende numerische Berechnungen zum hydro-mechanischen Verhalten des Callovo-Oxfordian Tonsteins als Reaktion auf den Schachtvortrieb zur besseren Beschreibung des Gesteinsverhaltens. Erstellung eines Kurzberichtes für ANDRA.

Erstellung des Entwurfs zum Abschlussbericht dieses Vorhabens.

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

Keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9551</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen  |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.09.2001 bis 31.07.2005   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.07.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.170.986,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Noseck                   |  |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Modellansätze und Parameter, welche die Migration von Radionukliden beschreiben und Eingang in Rechenprogramme für Langzeitsicherheitsanalysen finden, werden hauptsächlich aus Laborexperimenten gewonnen. Derartige Experimente sind naturgemäß auf kurze Zeiträume und kurze Transportwege begrenzt. Studien an natürlichen Analoga bieten demgegenüber die Möglichkeit, Informationen über das in geologischen Zeiträumen stattgefundenene Migrationsverhalten der Radionuklide in einer natürlichen Umgebung zu erhalten. Damit wird es möglich, verwendete Rechencodes und Eingangsparameter zu überprüfen, ggf. zu modifizieren und das Vertrauen in geochemische und Transportmodelle zu erhöhen. Nach grundsätzlicher Eignungsbestätigung der beiden Standorte Ruprechtov (CZ) und Heselbach (D) (FKZ 02E9128) werden zunächst die Uranquellen charakterisiert, die großräumige U-Verteilung erfasst, relevante GW-Fließwege und Strömungsfelder ermittelt und im Anschluss Rechenprogramme zum Transport von Radionukliden auf die U-, Th- und Ra-Migration angewendet. Letztendlich soll die Rolle der Geosphäre als natürliche Barriere für die Radionuklid-Migration über geologische Zeiträume dargestellt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1: Experimentelle Arbeiten umfassen das Abteufen weiterer Bohrungen, die Ermittlung hydraulischer und geochemischer Parameter mit Hilfe zusätzlicher Grundwassermessstellen, eine detaillierte chemische, mineralogische und radiometrische Analytik von Sedimenten, Granit, Grund- und Porenwässern sowie den Nachweis stabiler Isotope und wichtiger Isotope aus den natürlichen Zerfallsreihen. Darüber hinaus sollen Batch- und Säulenexperimente den Einfluss von Sorption und Ausfällung auf gelöste Radionuklide ermitteln.

AP 2: In Ergänzung hierzu umfassen theoretische Arbeiten die Erstellung von Strömungsmodellen an beiden Standorten. Auf Basis der Ergebnisse aller experimentellen Arbeiten und geochemischen Modellrechnungen soll dann der Transport der Radionuklide U, Th und Ra an den Standorten modelliert werden. Dabei wird großer Wert auf eine klare und verständliche Dokumentation der Ergebnisse im Hinblick auf Systemverständnis und öffentliche Akzeptanz von Endlagerstandorten gelegt.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Erstellung der Abschlussberichte zu den Standorten Heselbach und Ruprechtov.

Ergebnisse:

- Anhand aller vorhandenen Informationen und Ergebnisse wurde die wahrscheinliche geologische Entwicklung inklusive der Prozesse zur Uranmobilisierung und –anreicherung am Standort Ruprechtov abgeleitet und dokumentiert.
- Aussagen für den Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern wurden abgeleitet. Ein sehr wichtiges Argument zur Barrierefunktion tonhaltiger Sedimente ist, dass der wesentliche Urantransport am Standort Ruprechtov in der geologischen Vergangenheit nur über Distanzen von 10 bis max. wenige 100 m stattgefunden hat und dass Uran in den lignitreichen Tonschichten effizient zurückgehalten wird.
- Am Standort Heselbach wurde die Urananreicherung als junger geologischer Prozess während des Quartärs identifiziert. Auf Basis der hydrogeologischen Ergebnisse wurden zwei Szenarien für Urantransport und –anreicherung entwickelt. Die Transportrechnungen zu beiden Szenarien bestätigen die heute zu beobachtende Uranmenge und -verteilung in der tertiären Rinne. Einschränkungen in der Eignung als natürliches Analogon resultieren hauptsächlich aus umfangreichen Baumaßnahmen, die während des Projekts am Standort durchgeführt wurden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt endete am 31.07.2005.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Schönwiese, D.; Noseck, U.; Brasser, Th.: Radionuclide transport in natural rock formations – Heselbach site. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH. GRS 217. Dezember 2005.

Noseck, U.; Brasser, Th.: Radionuclide transport in natural rock formations – Ruprechtov site. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH. GRS 218. Dezember 2005.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9632</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2002 bis 28.02.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>777.912,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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- und TE-Festigkeitsversuche an Vollprüfkörpern mit messtechnischer Erfassung der Dilatanz zur Bestimmung zentraler Gesteinsparameter, d.h. Verformungs- und Kurzzeitfestigkeitsverhalten sowie Volumenänderungs- 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 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: Triaxiale Kriechversuche an Vollprüfkörpern mit messtechnischer Erfassung der Dilatanz und der Gaspermeabilität unter Berücksichtigung der Spannungsgeometrie sind durchgeführt worden; Laborative Untersuchungen zum hydromechanisch gekoppelten Festigkeitsverhalten an Tongestein bei Entsättigung sind 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.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Keine
- AP2: Keine
- AP3: Keine
- AP4: Keine
- AP5: *Aufbauend auf den aktuellen Erkenntnissen aus AP3:*  
Planung und Durchführung von weiteren Versuchsserien an Kernmaterial der Lokation Mont Terri zur Identifizierung der lagerungsbedingten Ausprägung der das mechanische Materialverhalten von Tongestein maßgeblich beeinflussenden hydraulischen Verhältnisse (Porenwasserdruck, Wassergehalt).
- AP6: Keine
- AP7: Herausarbeitung grundsätzlicher numerischer Erfahrungen im Tonsteingebirge durch Stoffmodell- / Parametervariation an Referenzmodellen (Strecken) im Tonsteingebirge mit dem FDM-Programmsystem FLAC3D.
- AP8: Schlussbericht

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55099 Mainz   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9653</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit                       |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2003 bis 30.06.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>367.376,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

Zur Stabilisierung von Pu(III) unter atmosphärischen Bedingungen wurden verschiedene Reduktionsmittel eingesetzt, wobei sich  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  bis pH 5 als am günstigsten erwiesen hat, wie flüssig-flüssig Extraktionsversuche zeigten. Die Komplexbildung von Pu(III) mit Aldrich Huminsäure (0-55 mg/l) wurde im Metallionenkonzentrationsbereich  $10^{-6}$  M bis  $10^{-8}$  M zwischen pH 3 und pH 4,5 mittels Ultrafiltration untersucht; die  $\log \beta$ -Werte liegen zwischen 5,3 und 6,2. Die Sorption von Pu(III) an Kaolinit ( $1 \times 10^{-6}$  M –  $1 \times 10^{-8}$  M Pu III) wurde im pH-Bereich 0,7 bis 11 in Abwesenheit und Gegenwart von  $\text{CO}_2$  bestimmt und eine Absorptionskante bei pH 5,5 erhalten; die Daten stimmen gut mit denen von Am(III) überein.

Die Wechselwirkung von vierwertigem Pu ( $1 \times 10^{-5}$  M bis  $6,9 \times 10^{-9}$  M) mit Kaolinit wurde in Batch-Experimente bei An- und Abwesenheit von  $\text{CO}_2$  untersucht. Die Absorptionskante liegt zwischen pH 1

und 1,5. Die Reversibilität dieses Prozesses wurde auch studiert, wobei sich ein Gleichgewicht bei etwa 10 % desorbiertem Pu(IV) einstellt. Die Sorptionskurve von Pu(IV) an Kaolinit ist der von Th(IV) sehr ähnlich. Weiterhin wurde die Sorption von Aldrich Huminsäure und Gohy-573 Fulvinsäure an Kaolinit ermittelt. Mit steigendem pH-Wert nimmt die Sorption ab.

Mit Hilfe der EXAFS-Spektroskopie wurden drei Pu(IV)-Kaolinit-Proben und eine Pu(III)-Kaolinit-Probe bei ANKA in Karlsruhe an dem Synchrotronstrahlrohr des Instituts für Nukleare Entsorgung vermessen.

Die Machbarkeit von Pu  $L_{3}$ -Kante EXAFS-Messungen konnte gezeigt werden. Die ermittelten EXAFS-Strukturparameter deuten auf die Ausbildung einer mehrkernigen Pu-Spezies ähnlich einem Pu(IV)-Oxid/Hydroxid hin.

Die Sorption von Np(V) an Kaolinit in Abhängigkeit von der Ionenstärke wurde im  $\text{CO}_2$ -freien System bei einer Konzentration von  $10^{-11}$  M in Batchversuchen untersucht, sowie die Reversibilität der Neptuniumsorption bestimmt.

Das Sorptionsverhalten von Np an Kaolinit zeigt bei  $10^{-11}$  M Np(V) eine ähnliche Abhängigkeit vom pH-Wert in An- und Abwesenheit von  $\text{CO}_2$  wie es bei höheren Konzentrationen (8  $\mu\text{M}$  Np(V)) beobachtet wurde. Bei pH 9 und im Gleichgewicht mit  $\text{CO}_2$  steigt der Anteil des sorbierten Np(V) mit zunehmender Ionenstärke (0,01 – 1,0 M  $\text{NaClO}_4$ ). Bei Ausschluss von  $\text{CO}_2$  ist bei pH 9 die Sorption von Np(V) an Kaolinit unbeeinflusst von der Ionenstärke. Die Sorption bei  $10^{-11}$  M Np(V) verläuft reversibel.

Die Speziation von Np(V) bei der Sorption an Hämatit wurde mit der EXAFS-Spektroskopie bei ANKA untersucht. In Gegenwart von  $\text{CO}_2$  wird keine Np(V)-Carbonat-Spezies wie bei der Sorption an Kaolinit gebildet.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Komplexbildungskonstanten von Pu(III) mit Huminstoffen sollen über CE-DAD-ICP-MS bestimmt werden. Das ternäre System Pu(III)-Huminstoff-Kaolinit wird detaillierter untersucht werden. Weiterhin sind Sorptionsstudien von Pu(IV) an Kaolinit in Gegenwart von Huminsäure und Fulvinsäure geplant. Die  $\log \beta$ -Werte von Pu(IV) mit Huminstoffen sollen ermittelt und mit denen von Th(IV) verglichen werden.

Die Laborexperimente zur Sorption von Np(V) an Kaolinit sollen zum Abschluss gebracht werden. Weiterhin ist geplant, die Speziation des Neptuniums bei der Sorption an Hämatit in Abhängigkeit vom pH-Wert in An- und Abwesenheit von  $\text{CO}_2$  mit EXAFS-Spektroskopie zu bestimmen. Die dafür notwendige Synchrotronstrahlzeit wurde von der ESRF bewilligt.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

K. Schmeide, T. Reich, S. Sachs, G. Bernhard

Plutonium(III) Complexation by Humic Substances Studied by X-ray Absorption Fine Structure Spectroscopy, *Inorg. Chim. Acta* **359** (2006) 237-242

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

Speciation of the Oxidation States of Plutonium in Aqueous Solutions by CE-ICP-MS and CE-RIMS *Radiochim. Acta*, eingereicht

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9663</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2003 bis 30.06.2006  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>371.126,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Kupsch                   |   |

## 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 nichtionischen amphiphilen Verbindungen)
- AP 5: Untersuchungen zur Aufklärung der Zeitabhängigkeit des Konkurrenzeffektes von Fe(III) bezüglich der Humatkomplexbildung von Eu(III): Zeitabhängige Versuche an Fe-Huminsäure-Systemen (Potentiometrie, UV-VIS-Spektroskopie)
- AP 6: PET-Messungen zur Visualisierung des räumlichen und zeitlichen Ausbreitungsverhaltens von Huminstoffkolloiden in einer Sandmatrix

Ergebnisse:

Durch direkte elektrophile Halogenierung mit dem Positronenstrahler  $^{124}\text{I}$  gelang die Markierung von natürlichem organischem Material in ausreichend hohen Ausbeuten, um PET-Untersuchungen zu ermöglichen (spezifische Aktivität  $> 1\text{GBq/mg}$ ). Eine indirekte Markierung durch Azokupplung mit [ $^{18}\text{F}$ ]Fluoranilin zeichnet sich demgegenüber durch eine höhere Stabilität aus, erfordert aber sehr hohe Einsatzaktivitäten aufgrund geringerer Markierungsausbeute und kürzerer Halbwertszeit.

Anhand der Markierung konnte das Ausbreitungsverhalten von Huminstoffkolloiden in einer geschlossenen Matrix erstmals in querschnittsauflösenden Messungen mittels PET sichtbar gemacht werden. Die Migration in einer feinkörnigen Schüttung (Sand, Pulsinjektion bei kontinuierlichem Durchfluss, pH 6) ist durch eine ausgeprägte Kanalbildung gekennzeichnet und erfolgt wesentlich langsamer als die eines wechselwirkungsfreien Tracers.

Das Auftreten zeitabhängiger Konkurrenzeffekte bei der Humatkomplexbildung von Eu(III) in Gegenwart von Fe(III) konnte dahingehend begründet werden, dass Eisen zunächst in kolloidaler Form mit Huminsäure in Wechselwirkung tritt, im gebundenen Zustand aber langsam zersetzt wird und mehr Bindungsplätze belegt. Änderungen von Bindungsort oder Bindungszustand des Metalls sind nicht Ursache des kinetischen Effektes.

Mit Hilfe  $^{14}\text{C}$ -markierter Verbindungen wurde nachgewiesen, dass Huminstoffkolloide mit nichtionischen amphiphilen Molekülen in Wechselwirkung treten. Signifikante Auswirkungen auf Verteilungsverhalten und Bindungsvermögen gegenüber Metallen wurden indessen nicht festgestellt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Radiochemische Produktion und Isolation von  $^{86}\text{Y}$  für PET
- PET-Untersuchungen mit  $^{86}\text{Y}$  zur Visualisierung des huminstoffgebundenen Transportes höherwertiger Metalle im Vergleich zum freien Transport (Säulenversuche in Sandmatrix)
- Weitere Untersuchungen zur Mischaggregation von Huminstoffen mit niedermolekularen Fremdorganika (Radiotracerexperimente mit  $^{14}\text{C}$ -markierten ionischen amphiphilen Verbindungen)

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), Bautzner Landstraße<br>128 (B6), 01328 Dresden   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 E 9673</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer<br>- Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und<br>Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von In-<br>strumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien                                       |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br><br>01.07.2003 bis 30.06.2006  | <b>Berichtszeitraum:</b><br><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br><br>352.156,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br><br>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

- Durch Einsatz von [<sup>15</sup>N]-Phenylalanin erfolgte die Synthese einer <sup>15</sup>N-markierten Huminsäure (HS) Typ M1 ([<sup>15</sup>N]M1) zur Identifizierung von stickstoffhaltigen funktionellen Gruppen in HS. Hinsichtlich Elementzusammensetzung und Struktur stimmen [<sup>15</sup>N]M1 und M1 überein.
- Zur Bestimmung des Einflusses stickstoffhaltiger funktioneller Gruppen auf die U(VI)-HS-Komplexierung wurden mittels TRLFS und FTIR-Spektroskopie Untersuchungen mit Phenylalanin und Hydrozimsäure als Modellliganden durchgeführt (pH 4). TRLFS-Ergebnisse deuten darauf hin, dass die NH<sub>2</sub>-Gruppe im Phenylalanin bei pH 4 nicht an der U(VI)-Komplexierung beteiligt ist. Die log β-Werte weisen auf eine U(VI)-Komplexierung durch die COOH-Gruppe hin.
- Mittels konventioneller TRLFS und TRLFS mit ultrakurzen Pulsen wurde die Bildung des ternären Komplexes UO<sub>2</sub>(OH)HA(I) bei pH 7 (CO<sub>2</sub>: 0%) untersucht und Komplexstabilitäts-konstanten bestimmt. Für die Gesamtreaktion: UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>+OH<sup>-</sup>+HA(I)<sup>-</sup> ↔ UO<sub>2</sub>(OH)HA(I) wurde logβ<sub>0,1M</sub>: 14.7 ± 0.2 bestimmt, was mit Literaturdaten übereinstimmt.
- Mittels TRLFS wurden U(VI)-Oberflächenkomplexe an Kaolinit in Ab- und Anwesenheit von HS untersucht (pH 5-8). Die Auswertung der Fluoreszenzabklingkurven weist auf jeweils mindestens zwei U(VI)-Kaolinit-Oberflächenkomplexe in Ab- und Anwesenheit von HS hin. HS beeinflusst die relativen U(VI)-Fluoreszenzausbeuten und Fluoreszenzlebensdauern.
- Die Np(V)-Sorptions an Kaolinit KGa-1b in Ab- und Anwesenheit von HS wurde in CO<sub>2</sub>-Gegenwart untersucht ([Np]: 1·10<sup>-5</sup>, 1·10<sup>-6</sup> M, [HS]: 0, 50 mg/L, pH 6-10.5, I: 0.01, 0.1 M NaClO<sub>4</sub>, S/L: 4 g/L). Bei pH 9 und [Np]<sub>total</sub> = 1·10<sup>-5</sup> erreicht die Np-Sorption an Kaolinit ein Maximum mit 54 % (I: 0.01 M) bzw. 66 % (I: 0.1 M). Bei geringerer [Np]<sub>total</sub> ist die Sorptionskante zu niedrigeren pH-Werten verschoben. In Gegenwart von HS wird die Np(V)-Sorption im pH-Bereich 7.5-10.5 aufgrund der Bildung von gelösten Np(V)-Humat-Komplexen bzw. Np(V)-Carbonato-Humat-Komplexen verringert.
- In Diffusionsexperimenten wurde der Einfluss der Porosität auf die HS-Diffusion im Laborsystem Kaolinit-Wasser untersucht (pH 5, I: 0.01 M NaClO<sub>4</sub>, HS [<sup>14</sup>C]M42: 12 mg/L). Mit zunehmender Dichte sinken die effektiven Diffusionskoeffizienten von HS, was auf eine Behinderung des kolloidalen HS-Transports hinweist. Es wurde bestimmt, dass bei hohen Dichten (kleinen Porositäten) Sorptionsprozesse offenbar keinen Einfluss auf den HS-Transport haben. Mit abnehmenden Dichten gewinnen diese jedoch stark an Signifikanz.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- <sup>15</sup>N-NMR-spektroskopische Charakterisierung der HS [<sup>15</sup>N]M1
- Fortführung der spektroskopischen Untersuchungen zum Einfluss stickstoffhaltiger HS-Funktionalitäten auf die U(VI)-Komplexierung und zur Bestimmung von U(VI)-Oberflächenkomplexen an Kaolinit in Gegenwart von HS
- Weiterführung der Experimente zur Np(V)-Sorption an Kaolinit KGa-1b in Ab- und Anwesenheit von HS (Variation des pH-Wertes, CO<sub>2</sub>-Abwesenheit)
- Untersuchung des pH-Einflusses auf die Diffusion von HS sowie von U(VI) in Ab- und Anwesenheit von HS im Laborsystem Kaolinit-Wasser
- Aktualisierung der digitalen Huminstoff-Komplexierungs-Datenbank

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Sachs, S., Geipel, G., Mibus, J., Bernhard, G.: Impact of Humic Acid on the Uranium Migration in the Environment. In: *Uranium in the Environment. Mining Impact and Consequences*. B.J. Merkel, A. Hasche-Berger, (eds.). Springer, Berlin, 2005, p. 107-116.

Schmeide, K., Reich, T., Sachs, S., Bernhard, G.: Plutonium(III) Complexation by Humic Substances Studied by X-Ray Absorption Fine Structure Spectroscopy. *Inorgan. Chim. Acta* **359**, 237-242 (2006).

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66041 Saarbrücken  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9683</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit                             |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2003 bis 31.12.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>316.197,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Beck               |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Als Zielsetzung des Forschungsvorhabens wird die Komplexbildung der Lanthaniden Eu und Gd mit Huminsäure in Gegenwart von Kaolinit als Modell-Tonmineral untersucht, um die Möglichkeit der Endlagerung von Radionukliden in Tonformationen zu überprüfen. Dabei wird neben verschiedenen Konzentrationen an Metall und unterschiedlichen pH-Werten auch der Einfluss natürlich vorhandener Konkurrenzkativen 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):  
Der Schwerpunkt der Arbeit liegt hier bei der Untersuchung der Komplexbildung zwischen Schwermetall und Huminsäure. Hierbei soll der Einfluss geochemischer Parameter wie pH, Ionenstärke und Wasserhärte (Ca, Mg-Gehalt) untersucht werden. Dabei müssen Methodenentwicklungen für die Speziationsanalytik auf Basis der CE-ICP-MS Kopplung sowie mit optischer Detektion geleistet werden.  
Ist weitestgehend abgeschlossen.

AP3: Das System Metall-Kaolinit (binäres System III)  
Für das dritte binäre System Metall-Kaolinit sollen pH-edges sowie Sorptions- und Desorptionsexperimente von Eu und Gd mit Kaolinit durchgeführt. Außerdem soll der Einfluss von Ca, Mg und Al als Konkurrenzkativen bestimmt werden.  
Ist abgeschlossen.

AP4: Das ternäre System Metall-Huminsäure-Kaolinit  
Im ternären System soll untersucht werden, inwieweit die neu entwickelte Speziationsanalytik in der Lage ist, Einblicke in das hochkomplexe System zu gewähren, wobei die typischen geochemischen Parameter wie pH sowie Ca- und Mg-Konzentration zu variieren sind.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nachdem in den Untersuchungen des letzten Bericht-Zeitraums eine starke Beeinflussung der Eu/Gd-Sorption vor allem durch Ca und Mg beobachtet werden konnte, wurden anschließend Desorptionsexperimente durchgeführt, um Erkenntnisse zur Reversibilität der Sorption der Metalle an Kaolinit zu gewinnen. Dazu wurde die Versuchsansätze aus den Sorptionsversuchen als Ausgangspunkt für die folgenden Desorptionsversuche verwendet.

Zunächst wurden Desorptionsversuche mit unterschiedlicher Konzentration an Schwermetall (0,5 und 1,0 ppm Lanthanid bei pH = 5) durchgeführt. Hierbei konnte eine schwächere Desorption bei geringerer Belegung des Kaolinit mit Metall (Nutzung von stärker bindenden "highly active sites") nachgewiesen werden.

Eine nennenswerte pH-Abhängigkeit (Versuche bei pH 3, pH 5 und pH 8) der Metall-Desorption (500 ppb Ausgangsmenge an Eu und Gd) von Kaolinit konnte insbesondere im sauren aber auch im basischen Bereich beobachtet werden, die wohl vor allem durch eine Veränderung der physikalischen Kaolinit-Eigenschaften begründet werden kann.

Unter den Versuchsbedingungen der Konkurrenzversuche (Kaolinit mit je 250 ppb Eu und Gd bei pH = 5 vorbehandelt) konnte ein starker Einfluss der Konkurrenzkationen Ca und Mg auf die Lanthanid-Desorption bestimmt werden, wobei eine nahezu vollständige Desorption der Lanthaniden nach vier Gleichgewichtseinstellungen erfolgte.

Bei der Weiterentwicklung der Speziationsanalytik konnten mit Hilfe der HPLC-DAD verschiedene Huminsäure-Fractionen auch bis in niedrige Konzentrationsbereiche (< 10 ppm) quantifiziert werden. Durch die erfolgreiche Kopplung von HPLC-DAD und ICP-MS bietet sich alternativ bzw. ergänzend zu den vorhandenen analytischen Methoden eine Erfolg versprechende Möglichkeit zur Charakterisierung des komplexen ternären Systems.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Nach der weiteren Optimierung der CE-ICP-MS und HPLC-ICP-MS-Kopplung als Alternativ-Methode wird zur Zeit die Untersuchung des ternären Systems durchgeführt. Dabei werden Versuche zur Metall-Sorption an Kaolinit unter variierender Lanthanid-Konzentration mit und ohne Huminsäure durchgeführt. Zusätzlich werden Sorptions-pH-edges von Metall an Kaolinit in Gegenwart von Huminsäure bestimmt und der Einfluss von Konkurrenzkationen in Gegenwart von Huminsäure auf die Metall-Sorption gemessen.

#### 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 (angenommen): Online analysis of humic acid complexed and non humic acid complexed europium and gadolinium species by Capillary electrophoresis - Inductively coupled plasma mass spectrometry. Anal. Bioanal. Chem.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU München, Arcisstraße 21, 80290 München  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9693</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer<br>- Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe           |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2003 bis 30.06.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>327.328,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Rösch              |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

- Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung 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 Komplexierung 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 1.2: Uranyl-Komplexierung mit aromatischen Carboxylaten in Lösung

In AP 1.2 wurden die Untersuchungen von aromatischen Carboxylaten um Lösungsmittelleffekte fortgeführt. Außerdem wurden sterische und elektrostatische Effekte anhand verschiedener Substituenten (CH<sub>3</sub>, OH) am Phenylring untersucht. Im Vergleich mit aliphatischen Carboxylaten und Benzoat zeigen sich keine signifikanten Strukturunterschiede bezüglich charakteristischer Bindungen, weder bei bi- noch bei monodentater Koordination. Jedoch wurde eine etwas geringere Stabilität der aromatischen gegenüber den aliphatischen Komplexe ermittelt. Methylsubstituenten beeinflussen die berechneten Bildungsenergien nur geringfügig. In Ortho-Position lassen sich leichte sterische Effekte nachweisen. Dagegen wird die Bildungsenergie durch Hydroxyl-

Substituenten in Ortho-Position deutlich erniedrigt, weil die Uranyl-Carboxylat-Bindung durch eine H-Brücke von der OH-Gruppe geschwächt wird. Die Bildung eines 6-Ring-Chelatkomplexes über eine Ortho-OH-Gruppe ist energetisch gegenüber rein mono- bzw. bidentater Carboxylat-Koordination benachteiligt.

Ein struktureller Vergleich von Uranyl-Carboxylat-Komplexen mit verschiedenen aliphatischen und aromatischen Carboxylatliganden zeigt, dass der mittlere äquatoriale Uranyl-Sauerstoff-Abstand (eine charakteristische Größe aus EXAFS-Experimenten) weitgehend unabhängig vom Koordinationsmodus des Carboxylats sowie von Zahl und Art der Liganden ist. Dagegen variiert dieser Parameter deutlich mit der äquatorialen Koordinationszahl. Die in EXAFS-Untersuchungen beobachteten Unterschiede zwischen mono- und bidentater Koordination sind deshalb wohl vor allem auf eine Änderung der Koordinationszahl zurückzuführen.

#### AP 1.3: Uranyl-Komplexierung mit alkoholischen Gruppen in Lösung

In AP 1.3 wurden Berechnungen zur Koordination von Uranyl durch Phenol ergänzt, indem OH-Substituenten in Ortho- und Para-Position berücksichtigt wurden. Für alle Komplexe zeigen sich nur geringe strukturelle Unterschiede, der mittlere äquatoriale Uranyl-Sauerstoff-Abstand ist vergleichbar mit den Ergebnissen für Carboxylatkomplexe. Am Beispiel des 1,2-Dihydroxy-Phenols wird derzeit die mögliche Chelatbildung über zwei benachbarte OH-Gruppen untersucht. Gasphasenergebnisse liegen bereits vor, Berechnungen in Lösung sind in Arbeit.

Für Uranyl-Alkoholat-Komplexe mit einfachen aliphatischen Alkoholen und Alkoholaten (Methanol, Ethanol) wurden thermodynamische Korrekturen zur Bildungsenergie berechnet. Diese Korrekturen führen zu einer leichten Stabilisierung der Alkohol-Komplexierung an Uranyl mit anschließender Deprotonierung des Alkohols. Entsprechende Berechnungen für den Phenolat-Komplex sind in Arbeit.

#### AP 3.3: Testrechnungen QM/MM

Testrechnung zu einer QM/MM-Modellierung einer erweiterten expliziten Solvathülle konnten erfolgreich durchgeführt werden. Diese Arbeiten fallen in AP 3.2 und 3.3.

Um die Interpretation aktueller EXAFS-Messungen von Prof. Reich (Universität Mainz) am System Uranyl-Kaolinit zu unterstützen, wurden einfache Modelle für verschiedene Komplexierungsstellen des Kaolinites (Al, Si) untersucht. Die berechneten Ergebnisse bestätigen, dass eine Unterscheidung von Al bzw. Si aufgrund relativ ähnlicher Abstände zum Uranyl schwierig ist. Auch der mittlere äquatoriale Uranyl-Sauerstoff-Abstand erweist sich als zu unspezifisch für eine definitive Differenzierung.

## **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP 1.1: Komplexere explizite Solvathüllen am Beispiel einfacher Carboxylatkomplexe

AP 1.2: Thermodynamische Korrekturen für Uranylkomplexe mit aromatischen Carboxylaten

AP 1.3: Uranylkomplexierung mit Aminen, Chelatkomplexe.

## **5. Berichte, Veröffentlichungen**

L. V. Moskaleva, A. V. Matveev, S. Krüger, N. Rösch: "The Heat of Formation of the Uranyl Dication: Theoretical Evaluation Based on Relativistic Density Functional Calculations" *Chemistry - A European Journal*, 12, **2006**, 629.

S. Krüger, F. Schlosser, N. Rösch: "Monocarboxylate complexes of Uranyl: A relativistic density functional study" in *Advances in Actinide Science, Proceedings of the Conference Actinides 2005*, Manchester, July 2005, The Royal Society of Chemistry, London, **2006**, im Druck.

F. Schlosser, S. Krüger, N. Rösch: "A density functional study of uranyl monocarboxylates", *Inorg. Chem.* **2006**, im Druck.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 69047 Heidelberg  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9703</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2003 bis 30.06.2006  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>243.084,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Grunze             |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist eine detaillierte Prozessaufklärung einerseits hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen dem  $\text{Cm}^{3+}$  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  $\text{Tb}^{3+}$  bei verschiedenen Temperaturen und (iii) Untersuchung des Komplexierungsverhaltens von  $\text{Cm}^{3+}$ , 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  $\text{Cm}^{3+}$  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

In Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Karlsruhe/INE und der Universität Potsdam wurden gemeinsame Cm-TRLFS Messungen im Kontrollbereich des Instituts für Nukleare Entsorgung durchgeführt. Dabei wurde das Abklingverhalten der Cm Fluoreszenzemission bei verschiedenen Proben mit Humin- und Fulvinsäure in Abhängigkeit von der Anregungswellenlänge untersucht.

Die Studien zeigen, dass ein multiexponentieller (mindestens zwei Lebensdauern) Zerfall in H<sub>2</sub>O und D<sub>2</sub>O zu detektieren ist, sofern bei einer Anregungswellenlänge von 396.6 nm gearbeitet wird. Geht man jedoch zur direkten Anregung (593 nm) über, findet sich nur noch eine Lebensdauer. Die kurze, stark gequenchte Lebensdauer ist somit nicht als ein Hinweis auf eine weitere Cm/Humat bzw. Cm/Fulvat Spezies zu verstehen. Vielmehr ist diese kurze Lebensdauer von ~70 µs auf einen allgemeinen Quenchbeitrag der Huminsäure zurückzuführen. In Übereinstimmung mit den bei verschiedenen Delayzeiten gemessenen Spektren, die immer das gleiche Signal ergeben, kann dies als ein weiterer Beleg dafür gedeutet werden, dass bei der Wechselwirkung von dreiwertigen Actiniden mit Humin- und Fulvinsäure nur ein dominierender Komplex existiert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Von September bis Dezember 2005 wurden eine Vielzahl von Cm TRLFS Messungen durchgeführt. Dabei wurde die Abhängigkeit der Cm-Emissionslebensdauer von der Konzentration an Organik untersucht. Ferner wurde intensiv der Einfluss verschiedener Lanthanid-Ionen auf die Cm-Emission studiert. Diese Daten müssen ausgewertet und interpretiert werden.

Mit Hilfe des Schwingquarzsystems sollen vergleichende Untersuchungen zur Huminstoffsorption an SiO<sub>2</sub>- und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Oberflächen durchgeführt werden. Um die Stabilität der Messungen weiter zu erhöhen, ist vorgesehen, das System um eine Vortemperiereinheit für die eingesetzten Huminstofflösungen zu ergänzen. Da Untersuchungen bei höheren Temperaturen häufig zu schwer kontrollierbarer Bläschenbildung führen, welche die Resonanzfrequenz des Systems verändert, soll die Apparatur auf eine Messzelle mit Sichtfenster umgestellt werden. Auf diese Weise können auftretende Probleme rechtzeitig erkannt und eine Fehlinterpretation der Messdaten vermieden werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Thorsten Stumpf, Gunnar Buckau, Thomas Fanghänel: Koordination von dreiwertigen Actiniden durch Huminsäure: eine TRLFS Untersuchung, Vortrag am 12.09.2005 bei der GDCh Jahrestagung 2005 in Düsseldorf, Deutschland

Thorsten Stumpf, Gunnar Buckau, Thomas Fanghänel: Coordination of trivalent actinides by humic acids: a TRLFS study, Annex 1 in Report "Humic Substances in Performance Assessment of Nuclear Waste Disposal: Actinide and Iodine Migration in the Far-Field" FZKA 7070 (2005) Forschungszentrum Karlsruhe

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9723</b>         |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen   |  |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |  |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2003 bis 30.06.2006   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>993.966,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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: Der Programmcode wurde so erweitert, dass nicht mehr in jedem Zeitschritt eine Rechnung durchgeführt wird. Anhand bestimmter Kriterien wird geprüft, ob das Auslassen einer Rechnung zulässig ist. Falls keine Rechnung durchgeführt wird, werden Rechenergebnisse zurückliegender Zeitschritte für das aktuelle System extrapoliert. Ergebnisse aus zurückliegenden Rechnungen werden für diese Operation verwendet und dienen auch dazu, dem Programm CHEMAPP Schätzwerte für eine ggf. neu durchzuführende Rechnung zu liefern, wodurch ebenfalls Rechenzeit eingespart wird.

CHEMAPP: Dichteabhängige Rechnungen sind nun möglich. Dichten können mit einer Präzision von ca. 1% oder weniger berechnet werden. Es war dazu nicht notwendig, ein – im Prinzip mit CHEMAPP rechenbares Datenmodell HKF-Pitzer – zu verwenden.

EMOS: Es wurden zwei unterschiedliche Arten der numerische Kopplung des geochemischen Modells an das Strömungsmodell in LOPOS realisiert, um mit den Differenzen in den strömungsrelevanten Zustandsgrößen Druck und Phasenvolumina des Geochemiemoduls und von LOPOS umzugehen. Bei der ersten Methode werden die Differenzen durch einen Tiefpass gefiltert. Dies führt zur Dämpfung numerischer Instabilitäten bei der Strömungsberechnung, die durch Effekte der geochemischen Rechnung importiert werden können. Die zweite Methode überschreibt den Zustand aus der Strömungsberechnung durch die Größen des Geochemiemoduls und geht damit analog zur üblichen Methode bei der Transportrechnung vor. Außerdem wurde die Abstimmung zwischen Größen des Strömungsmodells (Volumina, Volumenströme) und des Transportmodells (Inventare) verbessert, um Diskrepanzen zwischen Geochemie und Strömung zu vermindern und dadurch numerische Instabilitäten zu vermeiden. Die Einbindung von EQLINK in eine für Tonstein erweiterte Version von GRAPOS wurde konzeptionell vorbereitet und die Implementierung begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Vergleichsrechnungen für die unterschiedlichen Kopplungen in LOPOS werden an einem Mehrkammer-Modell fortgesetzt. Die Kopplung von EQLINK an GRAPOS, die im Gegensatz zu LOPOS nur die Transportkopplung ohne Änderung von Transporteigenschaften beinhaltet, wird abgeschlossen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9733</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Ton-<br>gestein   |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von In-<br>strumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2003 bis 31.12.2006  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>748.584,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Dipl.-Geophys. Jobmann       |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

Im Rahmen des Vorhabens werden Auslegungsberechnungen für ein Endlager in einer Tonformation in verschiedenen Referenzregionen in Deutschland durchgeführt. Die Referenzregionen wurden in Zusammenarbeit mit der BGR-Berlin ermittelt. Geeignete Referenzregionen befinden sich zum einen im süddeutschen Molassebecken innerhalb des sogenannten 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 durchgeführt. In Abhängigkeit von den Parametern Kokillentyp, Einlagerungsvariante und Zwischenlagerzeit wurde der erforderliche Flächenbedarf für Einlagerungsfelder in der Referenzregion Norddeutschland ermittelt. Die Berechnungsergebnisse wurden vergleichend zu den Ergebnissen zu der Referenzregion Süddeutschland betrachtet.

Es wurden thermomechanischen Analysen zur Abschätzung der zu erwartenden Hebungen und Senkungen der Tagesoberfläche in der Referenzregion Norddeutschland durchgeführt.

Am Referenzmodell in Süddeutschland wurde eine Stabilitätsanalyse der Einlagerungsstrecken im Opalinuston unter Verwendung unterschiedlicher Stoffgesetze und Parameterkombinationen durchgeführt. Die Stabilitätsanalyse zeigt, dass bei der Auslegung von Einlagerungsfelder gegebenenfalls mechanische Randbedingungen neben den thermischen Randbedingungen mit einbezogen werden müssen.

Es wurden thermische Auslegungsberechnungen zu einem zweiten Modellgebiet im Opalinuston in Süddeutschland begonnen. Es wird ein Vergleich zu den bisherigen Ergebnissen in anderen Referenzregionen angestrebt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Entwicklung geologischer Modelle für noch verbleibende Referenzregionen in Deutschland in Zusammenarbeit mit BGR-Berlin.

Durchführung von thermischen Auslegungsberechnungen für die einzelnen Referenzgebiete und Vergleich der Ergebnisse.

Durchführung von thermomechanischen Analysen zur Abschätzung der zu erwartenden Hebungen und Senkungen der Tagesoberfläche sowie zur Einschätzung der untertägigen Stabilitätsbedingungen in den unterschiedlichen Referenzformationen.

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

Keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine  |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9743</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien   |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2003 bis 30.06.2008   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>544.748,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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 beziehen 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.

Einer der optischen Drucksensoren ist sehr dicht an der Behälteroberfläche innerhalb der Bentonitdichtung eingebaut. Er erfährt daher sehr hohe Temperaturen und liegt in der durch die Hitzeentwicklung bedingten Austrocknungszone des Bentonits. Der gemessene Druckverlauf ist charakterisiert durch einen Druckanstieg bis zu einem Maximum von etwa 8,5 MPa nach etwa 300 Tagen und anschließender Drucksenkung auf derzeit etwa 5 MPa. Das Druckmaximum wird erreicht während der Drucksensor einen Temperaturbereich von ca. 120-140°C durchläuft. Dieses Ergebnis korreliert sehr gut mit Labormessungen an Bentonitproben, bei denen festgestellt wurde, dass der Bentonit in diesem Temperaturbereich eine starke Wasserfreisetzung und Schrumpfung zeigt. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass die anfängliche Drucksteigerung durch den stark ansteigenden Porenwasserdruck erzeugt wird, der bei Verdampfung des Wassers in dem genannten Temperaturbereich wieder reduziert wird.

An Hand einfacher Modellberechnungen wurden zunächst thermische, hydraulische und thermo-mechanische Berechnungen zum Systemverständnis durchgeführt. Eine Betrachtung der Temperaturunterschiede zwischen zwei benachbarten Messpunkten lässt Rückschlüsse auf die In-situ-Wärmeleitfähigkeit des Bentonit zu. Eine Auswertung dieser Temperaturdifferenzen ergab, dass die berechneten Temperaturdifferenzen dann mit den gemessenen gut übereinstimmen, wenn die aus vorangegangenen Laboruntersuchungen erhaltenen Wärmeleitfähigkeiten für die Berechnungen benutzt wurden. Die ersten hydraulischen Berechnungen ergaben gut vergleichbare Werte bei einer hydraulischen Leitfähigkeit von  $2 \times 10^{-14}$  m/s.

### 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. Die bisherigen Berechnungsergebnisse an den einfachen Modellen dienen dabei als Startparameter.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9753</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracern  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2003 bis 30.09.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>413.581,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

Installation und Erprobung einer speziellen Tracerinjektionsvorrichtung mit Dosierschleife für Radiotracerexperimente bei sehr geringen Durchflussgeschwindigkeiten.

PET-Messungen zum lokalen Fluidtransport im Spalt eines granitischen Bohrkerns.  
 Ergebnis: Nachweis einer stark heterogenen Flussverteilung im Spalt. Flussverteilung variiert sowohl über die Spaltdicke als auch über die laterale Ausdehnung des Spaltes.

Aufbereitung der quantitativen Datensätze der PET-Messungen für die Entwicklung und Validierung von Modellen für Transportprozesse in den Spaltenkristalliner Gesteine.

Ergebnis: Erweiterte Datenbasis zur Modellierung des Lösungstransports unter Einbeziehung heterogener räumlicher Verteilungen. Bereitstellung der Datensätze für den Kooperationspartner zur Überprüfung der auf Grund von computertomographisch bestimmten Strukturdaten modellierten heterogenen Flussverteilungen.

Inaktive Vorversuche zur Bestimmung der Matrixdiffusion an Granitbohrkernen mit der Hochdruckmigrationsanlage.

Ergebnis: Festlegung der Versuchsparameter für die aktiven Versuche unter Einsatz eines PET-Tracers.

Experimentelle Überprüfung des verbesserten Konzepts zur Streuungs- und Absorptionskorrektur für die Bildrekonstruktion.

Ergebnis: Verbesserung der quantitativen Genauigkeit von PET-Messungen in Proben aus kristallinem Gestein.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- PET-Messungen zur Untersuchung des lokalen Fluidtransports im granitischen Bohrkern mit Spalt bei verschiedenen Durchflussgeschwindigkeiten.
- PET-Messungen zur Matrix-Diffusion in Abhängigkeit vom Fluiddruck.
- PET-Untersuchungen zur heterogenen Verteilung des Kolloidtransport im Spalt.
- Aufbereitung und Auswertung der Daten zur Validierung und Parameterbestimmung der Modelle für den geochemischen Transport in heterogenen Systemen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU München, Arcisstraße 21, 80290 München  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9763</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.11.2003 bis 31.10.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>491.930,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

HAS-Kolloide werden durch Conukleation von Si und Al unter verschiedenen Bedingungen von pH (pH 4 bis pH 9), Konzentration von Si und Al, Si/Al-Konzentrationsverhältnissen, sowie Konditionierungszeiten, hergestellt, und die Stabilität der jeweiligen Si-O-Al-Bindungen, untersucht. Dazu wird EDTA als stark komplexierender Ligand für Al eingesetzt. Die Desorption von Al aus HAS-Kolloiden wird in Abhängigkeit der EDTA-Kontaktzeit spektroskopisch verfolgt (Colorimetrie und ICP-OES). Die HAS-Kolloide, die EDTA-Resistenz aufweisen, werden weiter durch Erhöhung der Wasserstoff-Konzentration auf pH-Stabilität geprüft. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass HAS-Kolloide, die bei niedrigem pH (z.B. pH 5) bzw. auf der Basis von Monosilanol gebildet sind, mittels EDTA zerstört, und der Lösung als Silanol und EDTA-komplexiertes Al zurückgeführt werden. Die EDTA-induzierte Desorption von Al aus HAS erfolgt desto langsamer je höher der pH und je länger die Konditionierungszeiten der Mutterlösungen sind. Dagegen weisen HAS-Kolloide aus Mutterlösungen mit Polysilanol bei pH 9 bereits unmittelbar nach der Kolloidentstehung, EDTA-resistente Si-O-Al-Bindungen auf. Diese HAS-Kolloide sind säurestabil bis zu pH 4. Bei pH < 4 werden sie teilweise bis vollständig (ab pH ≈ 1) aufgelöst.

Die Stabilisierung von HAS-Kolloiden wird als kinetischer Effekt verstanden. Kolloidbildungsbedingungen wie pH, Temperatur, Element-Konzentration, Konditionierungszeit etc. können als Einflussparameter für die Element-Hydrolyse, -Polymerisation bzw. Entstehung von Oberflächen mit katalytischer Wirkung, die Kinetik der Conukleationsreaktion von Si und Al steuern. Je schneller die Polymerisationskinetik, desto höher ist die Bindungsaffinität zwischen Si und Al, und desto stabiler sind die HAS-Kolloide.

HAS-Pseudokolloide von An verschiedener Oxidationsstufen (III, IV, V, VI) werden, wie früher beschrieben, unter Bedingungen, die eine maximale An-Kolloid-Bindung gewährleisten, generiert. Die Stabilität der kolloidgebundene An (An-Inkorporation, EDTA-Resistenz und pH-Reversibilität) wird durch verschiedene Methoden vergleichend getestet bzw. definiert: (1) Radiometrie + Ultrafiltration für An(III), An(IV), An(V), An(VI); (2) TRLFS (Time-Resolved-Laser-Fluorescence-Spectroscopy) für An(III); (3)

EXAFS (X-Ray Absorption Spectroscopy) für An(III), An(IV), An(VI); (4) EDTA-Ligand-Verdrängung für An(III), An(IV), An(VI). Der gescreente pH-Bereich ist 4-9 und 4-12 für An(III), An(IV), An(VI) bzw. An(V).

Der Vergleich der Ergebnisse, die auf sehr unterschiedlichen Untersuchungsmethoden basieren, zeigt, dass die Stabilität der Actinid-HAS-Kolloidbindung maximal ist wenn die Hydrolyse der beteiligten Elemente, insbesondere der Actinide, begünstigt ist. Dies ist der Fall bei hoher pH ( $> 7$ ), hoher Konzentration und An-Oxidationsstufe in der Reihenfolge:  $\text{An(IV)} \geq \text{An(VI)} > \text{An(III)} > \text{An(V)}$ . Der Mechanismus ist die Copolymerisation einer hydrolysierten An-Spezies mit Polysilanol und  $\text{Al(OH)}_3$  bzw.  $\text{Al(OH)}_4^-$ .

Von den untersuchten Actiniden gehen An(IV) und An(VI) mit HAS-Kolloiden die stabilsten Bindungen ein. Eine vollständige Inkorporation in der kolloidalen Aluminosilicatstruktur wird hier sowohl durch EXAFS als auch durch EDTA-Resistenz bestätigt. Die pH-Stabilität der An-Kolloidbindung ist durch die pH-Stabilität der HAS-Kolloide selbst (bis pH 4, siehe oben) limitiert.

Im Falle von An(III) erkennt die TRLFS, dass die maximale An(III)-Kolloidbindung aus einer vollständigen Verdrängung vom Koordinationswasser des Cm-Aquoions durch Polysilanol resultiert. EXAFS bestätigt den Einbau von An(III) im Aluminosilicatgerüst der Kolloide. Diese An(III)-Kolloidbindung ist jedoch nicht EDTA-resistent, und nur bis pH 6 säureresistent. Bei  $\text{pH} < 6$  löst sich An(III) aus der HAS-Bindung, die, wie oben erwähnt, bis pH 4 säurestabil ist.

Eine An(V)-Kolloidbindung wird im pH-Bereich 4-9 nicht beobachtet. Erst ab pH 10-11 entsteht eine hydrolysierte An(V)-Spezies, die mit Si und Al eine Conukleation eingehen kann. Dementsprechend wird eine Inkorporation von An(V) in HAS-Kolloiden erst ab  $\text{pH} > 10$  beobachtet.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Erfassung der Bedingungen der maximalen Inkorporation von drei-, vier-, fünf- und sechswertigen Actiniden bzw. Eigenkolloiden in Aluminosilicat-Kolloiden, auch unter natürlichen Bedingungen. Der Einfluss von den dem Wasser stets begleitenden Elementen (Kationen, anionische Liganden) sowie organischen Bestandteilen werden miteinbezogen.

Stabilitätstests und Desorptionskinetiken an stabil, in Aluminosilicat-Kolloiden inkorporierten Actiniden bzw. Eigenkolloiden, werden durchgeführt. Langzeitversuche ohne und unter Zusatz von stark komplexierenden Liganden wie EDTA werden eingesetzt. Verschiedene Geomatrices werden ausgewählt um die Kolloidstabilität weiter zu prüfen mit dem Ziel, die maximale Actinid-Kolloid Migration für das repräsentative Beispiel Aluminosilicat-An(III, IV, V, VI)-Kolloide in verschiedenen Aquifersystemen zu modellieren.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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* (2005).
- [4] 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).

#### *Dissertation*

- [1] A. Priemyshev; "Formation of Colloids of Americium, Thorium and Aluminosilicates in Aquatic systems", Fakultät für Chemie, Technische Universität München (2004).
- [2] D. Breban, "Provenance and Characterization of Aquatic Actinide Colloids: Nucleation of Aluminosilicate Colloids with Actinides", Fakultät für Chemie, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg (in preparation, 2005).

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9773</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2003 bis 30.06.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.051.850,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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:
  - THM-Oedometerversuche an Tonproben von D/L = 50/50 mm
  - THM-Triaxialversuche an Tonproben von D/L = 50/100 mm
  - THM-Simulationsversuche an Großenkernproben von D/L = 280/600 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: Der große Aufheizversuch an einem Tonkern (D/L=260/700mm) aus der HE-D Erhitzebohrung wurde durchgeführt. Zur Beobachtung der Reaktionen des Tonsteins auf Aufheizung und Abkühlung sind 4 Sensoren für Temperaturmessung und 4 Sensoren für Porenwasserdruckmessung in der Probe installiert worden. Die Probe wurde bei 30°C hydrostatisch auf 8 MPa belastet und mit einem Wasserinjektionsdruck von 0 und 1 MPa aufgesättigt. Unter kontrollierten Randbedingungen wurde die Probe durch Erhöhung der Temperatur in der Triaxialzelle innerhalb von 3 Wochen auf 76°C aufgeheizt und danach über 1 Woche auf 30°C abgekühlt. Die Aufheizung bewirkte eine im Vergleich mit den entsprechenden In-situ-Beobachtungen relativ niedrige Erhöhung des Porendruckes um 0,3 – 0,6 MPa. Wegen der parallel zur Probenachse vorhandenen Schichtung wurden deutliche radiale Verformungen beobachtet. Aufheizung und Abkühlung wurden anschließend an derselben Probe ohne mechanische Beanspruchung wiederholt.

Die gesamten Langzeit-Kriechversuche an 2 Proben des Opalinuston (Mont Terri) und 9 Proben des Callovo-Oxfordian-Tonsteins (Bure) bei unterschiedlichen Temperaturen von 23 bis 90°C und Axialbelastungen von 0,7 bis 14 MPa wurden beendet. Die Versuchsdauer lag zwischen 1 und 4,5 Jahre.

In-situ-Messungen: Nach der Erhitzeabschaltung im März 2005 fielen Druck und Temperatur an allen Messstellen kontinuierlich ab. Es gab keine plötzlichen Druckentlastungen und damit keine Hinweise auf abkühlungsbedingte Rissbildung. Nach vollständiger Abkühlung wurde im September 2005 an vier Messstellen die Wasserpermeabilität des Gebirges gemessen. Alle Werte lagen im Bereich 10<sup>-19</sup> bis 10<sup>-18</sup> m<sup>2</sup>. Außerdem wurde der Gaseintrittsdruck an sieben Messstellen bestimmt. Im Nahbereich des Erhitzers lag dieser in der Regel bei 0,9 bis 1,3 MPa. Näher zur parallelen Beobachtungsstrecke hin wurde ein niedrigerer Gaseintrittsdruck von 0,65 MPa ermittelt, während er an einer von Strecken und Aufheizung unbeeinflussten Messstelle über 4 MPa lag. Ende September 2005 wurden an den Bohrungen BHE-D18 bis BHE-D23 Gasinjektionsmessungen durchgeführt. Hierbei ergaben sich Gaseintrittsdrücke von 2,5 bis 3,0 MPa. Bei weiterer Druckerhöhung bis auf 3,5 MPa wurden im Gebirge Fracs erzeugt, die einerseits durch einen hohen Gasfluss und andererseits durch einen Druckaufbau in den benachbarten Bohrungen zu erkennen waren.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- (a) Auswertung der Laborversuche
- (b) Auswertung der In-situ-Messungen des Porenwasserdruckes und der Gaspermeabilität
- (c) Modellrechnungen für die In-situ- und Laboraufheizversuche
- (d) Erstellung des Abschlussberichtes

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Zhang, C.-L., Wileveau, Y., Rothfuchs, T.: A Heating Experiment in the Opalinus Clay at the Mont Terri Rock Laboratory. The 10th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM05), Sept. 4-8, 2005, Glasgow, Scotland.

Zhang, C.-L., Rothfuchs, T., Wiczorek, K., Jockwer, N., Wileveau, Y.: Monitoring and Modeling of Responses of the Opalinus Clay to Heating. International Symposium on Engineered Barriers for High Level Radioactive Waste Disposal (ISEB-2005), Sept. 8-19, 2005, Shanghai, China.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9783</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.09.2003 bis 31.12.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>443.925,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Brewitz            |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

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

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

Im Berichtszeitraum (2. Halbjahr 2005) wurden wieder insbesondere Teilleistungen aus AP2 (Erarbeitung von Einzelbeiträgen und Hauptkapiteln) erbracht, so dass mittlerweile zu nahezu allen Teilkapiteln Textbeiträge vorliegen. Der Schwerpunkt hat dabei auf den Kapiteln 6 (Geologische Endlageroptionen), 7 (Qualifizierung und Erkundung von Standorten), 8 (Langzeitsicherheitsnachweis für geologische Endlager) und 9 (Zu Planung, Bau, Betrieb und Verschluss von geologischen Endlagern) gelegen. Basierend auf mehreren bilateralen Projektgesprächen wurde darüber hinaus die abgestimmte Basis zur Überarbeitung bzw. Aktualisierung von Textbeiträgen geschaffen. An mehreren Stellen des Handbuches hat sich auf Grundlage des fortgeschriebenen Bearbeitungsstandes eine Umstrukturierung als sinnvoll erwiesen. Diese ist in der Zwischenzeit inhaltlich umgesetzt. Sämtliche Dokumente sind weiterhin auf einer gemeinsam zu nutzenden QuickPlace-Kommunikations-Plattform eingestellt, die entsprechend der Umstrukturierung ebenfalls neu aufgebaut worden ist. 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.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

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

Für das 1. Halbjahr 2006 ist vorgesehen, einzelne noch fehlende Teilkapitel-Entwürfe fertig zustellen. Parallel dazu wird mit der inhaltlichen Aktualisierung, Anpassung sämtlicher Haupt- und Teilkapitel in Bezug auf Art und Umfang der Darstellung sowie deren Zusammenführung unter weitgehender Vermeidung von Wiederholungen begonnen. Darüber hinaus werden Glossar und Literaturverzeichnis weitergeführt und ergänzt.

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie,<br>Elisabethenstraße 55-57, 64283 Darmstadt   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9793</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.09.2003 bis 31.12.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>475.000,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 überwiegend Teilleistungen aus AP2 erbracht. Die bestehende Gliederung wurde in einer internen Sitzung zwischen GRS und Öko-Institut dem Projektfortschritt angepasst. Die Gliederung (Stand: 20. Oktober 2005) wurde mit den Inhalten des IAEA Sourcebook abgeglichen und in der 10. Besprechung zum Handbuch der Endlagerung vorgestellt. Auf Grund der Anpassungen der Gliederung und daraus resultierenden Umstellungen in einzelnen Textbeiträgen wurde das Quick-Place im November 2005 aktualisiert.

Ein großer Teil der bestehenden Textentwürfe wurde in zwei redaktionellen Sitzungen (06.09.05/06.12.05) zwischen der GRS und dem Öko-Institut abgestimmt. Insbesondere ging es dabei um die fachlichen Inhalte der Texte und um Schnittstellen der Texte untereinander bzw. innerhalb von Texten. Im Ergebnis dieser Sitzungen wurden zahlreiche Texte überarbeitet.

Zu den Kapitel 4.1.2, 4.2.1, 4.3., 4.3.1 und 4.3.2 wurden neue Textentwürfe erarbeitet und ins Quick-Place eingestellt. Die Literaturrecherche wurde zu sämtlichen Kapiteln fortgeführt. Die jeweils verwendete Literatur ist aus den bestehenden Textentwürfen ersichtlich.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im Januar 2006 werden noch ausstehende Kapitel inhaltlich abgestimmt und anschließend ins Quick-Place eingestellt. Weiterhin ist vorgesehen, die Textversionen zu den Kapiteln 1, 4.2.4 und 8.1.1. im ersten Quartal 2006 fertig zu stellen. Die Fertigstellung einzelner noch nicht vorliegender Textentwürfe ist zum Ende des zweiten Quartals 2006 geplant.

Für das erste Halbjahr 2006 sind weitere redaktionelle Sitzungen zwischen GRS und Öko-Institut vorgesehen. Darüber hinaus sind die weitere Bearbeitung und Fertigstellung des Glossars sowie erste Planungen und Kontaktaufnahmen zur Veröffentlichung des Endlagerhandbuchs (Verlag, Randbedingungen für den Druck) vorgesehen.

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9803</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.11.2003 bis 31.10.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>691.684,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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: Der Transport der bestrahlten  $U_3Si_2$ -Brennelemente von Geesthacht nach Jülich ist erfolgt. Die Brennstoffplatten wurden in entsprechende Probenplättchen geschnitten und einer  $\gamma$ -spektrometrischen Messung unterzogen. Hierdurch konnte der Gehalt an den „Gamma-Leitnukliden“ (Cs-137, Co-60,...) bestimmt werden.  
Auslaugversuche mit unbestrahltem U/Al- und  $U_3Si_2$ -Brennstoff sind in Granit-Wasser (HRL Äspö) angesetzt worden. Die Bildung von Korrosionsrückständen (sekundären Phasen), ein Indiz für die Korrosion der Brennstoffplättchen, zeigt sich deutlich bereits nach 30 Tagen.
- AP2: Pu wird unter aeroben Bedingungen weder durch Verdünnung noch durch Variation der Ionenstärke der umgebenen Salzlauge aus den Korrosionsrückständen mobilisiert. Dagegen werden die Aktiniden U und Am quantitativ durch Verdünnung mobilisiert, aber unter dem Einfluss einer variablen Ionenstärke der umgebenen Salzlauge wurde auch nach 1088 Tagen noch kein Gleichgewicht erreicht.
- AP3: In Sorptionsversuchen mit dem Mg-Al-Cl-Hydrotalkit in Lauge 2 ( $MgCl_2$ -reiche Salzlauge) zeigen die trivalenten Elemente Am und Eu ein ähnliches Verhalten; beide Spezies sorbieren. Inkorporationsversuche mit den Aktiniden U, Pu und Am wurden angesetzt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Die Auslaugversuche mit **bestrahltem** U/Al- und  $U_3Si_2$ - Brennstoff sollen im Januar/Februar gestartet werden. Die Auslaugversuche mit **unbestrahltem** U/Al- und  $U_3Si_2$ -Brennstoff werden noch solange in ÄSPÖ-Wasser untersucht, bis keine Wasserstoffentwicklung (Indiz für die Korrosion) mehr detektiert wird.
- AP2: Beendigung des Versuches und Bestimmung des in der Lösung und im Feststoff vorhandenen Radionuklidinventars.
- AP 3: Fortführung der Sorptionsversuche mit Am und Eu. Neue Sorptionsversuche mit dem tetravalenten Th sind geplant. Beendigung der Inkorporationsversuche und Bestimmung der Radionuklidverteilung.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

H. Curtius, G. Kaiser:

*Leaching of irradiated U/Al-Fuel Elements in Salt Brine: -Mobilisation and Immobilisation-Behaviour of the Radionuclides-*. 10<sup>th</sup> International Conference on Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere, Migration 2005, 18.- 23. September 2005, Avignon, France.

H. Curtius, Z. Kattilparampil:

*Sorption of iodine on Mg-Al-double layered hydroxide*, Clay Minerals , 40 , (2005), 455-461

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9813</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen   |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.11.2003 bis 31.01.2007   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>760.030,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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 wird 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 (02 E 9511) und GENESIS (02 E 9733) 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 Entwicklung des Moduls CLAYPOS wurde weitergeführt. Alle Erweiterungen, die zur Berechnung des Transports im Ton vorgesehen waren, wurden erfolgreich implementiert. Darüber hinaus wurde das Programm dahingehend erweitert, dass mehrere Bereiche mit unterschiedlichen Transportparametern betrachtet werden können. Es besteht nunmehr eine erste voll funktionsfähige Programmversion zur Durchführung deterministischer Rechnungen.

Die Weiterentwicklung des Programms  $r^3t$  wurde fortgeführt. Die Entwicklungsarbeiten zur Berücksichtigung der elementspezifischen Diffusion und der elementspezifischen Porosität sind abgeschlossen. Die Entwicklungsarbeiten zur Kopplung von  $r^3t$  mit Phreeqc wurden begonnen. Erste Tests zeigten, dass eine Ankopplung über die Ein- und Ausgabedateien von Phreeqc nicht durchführbar ist, da die Rechnung dadurch zu langsam würde. Daher muss eine direkte Einbindung des Phreeqc-Codes in  $r^3t$  erfolgen.

AP2: Die Nachmodellierung des Bohrlochexperiments DI-A wurde abgeschlossen. Es zeigten sich sowohl für den zeitlichen Verlauf der Konzentration im Bohrloch, wie auch für die Konzentrationsprofile in der Formation gute Übereinstimmungen der Modellierung mit den experimentellen Daten und den Modellierungen anderer Organisationen. Durchgeführt wurden weiterhin eine Nachmodellierung von Isotopenprofilen des Standorts Benken und eine Untersuchung des Einflusses einer eventuellen advektiven Strömungskomponente. Der Vergleich mit den Spurenstoffprofilen und den Modellierungen von Gimmi et al. zeigt ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung. Die bisher durchgeführten Erweiterungen der Programme  $r^3t$  und CLAYPOS sind damit erfolgreich getestet worden.

Kofinanzierung FUNMIG: Teilnahme am 1<sup>st</sup> Annual Meeting in Saclay. Beginn der Erstellung einer dreidimensionalen Geometrie des DR-Experiments und einer zweidimensionalen Geometrie für den Standort Mont-Terri zur Modellierung mit  $r^3t$ .

AP3: Die Sammlung der für eine Sicherheitsanalyse benötigten Daten wurde fortgesetzt.

### 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: Prognostizierende Modellierung des Diffusionsexperimentes DR und Simulation natürlicher Isotopenprofile am Standort Mont Terri. Diese Arbeiten werden im Rahmen der Kofinanzierung des Projektes FUNMIG durchgeführt.

AP3: Erarbeitung eines Modellkonzeptes für die Langzeitsicherheitsanalyse für ein Endlager im Ton und Entwicklung der Szenarien. Fortsetzung der Zusammenstellung der benötigten Eingangsdaten. Beginn der langzeitsicherheitsanalytischen Modellrechnungen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9824</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2004 bis 30.06.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>178.920,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 am ersten Messplatz (Messplatz A) auf der neuen Streckensohle wurden abgeschlossen; eine detaillierte Auswertung steht noch aus. Der Messplatz wird für die Messungen der Laugenpermeabilität vorbereitet, sobald eine Wiederholungsmessung zur Gaspermeabilität durchgeführt wurde.

Der zweite Messplatz (Messplatz B) auf der 18 Jahre alten Streckensohle mit der entsprechenden Auflockerungszone wurde installiert und die Messungen zur Gaspermeabilität wurden durchgeführt. Dabei wurde Stickstoff mit Maximaldrücken bis zu 1 MPa in die fünf unterschiedlich tiefen Messintervalle injiziert. Obwohl eine detaillierte Auswertung noch aussteht, ist zu erkennen, dass sich unter der alten Streckensohle eine Auflockerungszone mit ähnlichen Eigenschaften wie in der benachbarten AHE-Strecke, die im Rahmen des BAM-BUS-II-Projektes untersucht wurde, ausgebildet hat, d.h. es werden Permeabilitäten bis in den Bereich von  $10^{-15} \text{ m}^2$  angetroffen. Im Gegensatz dazu lagen die Permeabilitäten unterhalb der neuen Streckensohle an Messplatz A um mehrere Größenordnungen niedriger, was für die Effektivität des Nachschneidens spricht.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Auswertung der Gasdiffusionsmessungen am Messplatz A mit einem vereinfachten analytischen und einem angepassten Finite-Element-Modell.

Messungen zur Gas- und Laugenpermeabilität am Messplatz A.

Messungen zur Gasdiffusion und Laugenausbreitung am Messplatz B (18 Jahre alte Strecke).

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

Keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9834</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen - LUVEAT  |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2004 bis 31.12.2007   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>202.000,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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-Pressen 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  $D/d/L = 260/80/600$  mm
- Modellrechnungen der Laborversuche

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Verheilungsversuche an drei geschädigten Tonproben (D/H=87/43-86 mm) aus Bure sind über ein Jahr gelaufen. In den ersten 2,5 Monaten wurde an zwei geschädigten Proben eine allmähliche Reduzierung der Gaspermeabilität um eine Größenordnung beobachtet. Bei der anschließenden Wasserinjektion über weitere 5 Monate wurde kein Wasserausfluss gemessen. Danach wurden die Proben bei Erhöhung des Manteldrucks von 2 bis 2,5 MPa über 4 Monate konsolidiert. In der letzten Phase wurde die zweite Gasinjektion mit einem Druck von 2 MPa durchgeführt. Die dabei gemessenen Gaspermeabilitäten liegen bei  $10^{-21} \text{ m}^2$  und sind 2 bis 5 Größenordnungen niedriger als die vor den Versuchen gemessenen Werte von  $10^{-16} - 10^{-19} \text{ m}^2$ . Dies zeigt eine deutliche Verheilung des Tonsteins infolge von Belastungseinwirkung und Aufsättigung. Die Langzeitversuche werden Anfang 2006 beendet und ausgewertet.

Ein zusätzlicher Versuch wurde an einer gelochten Tonprobe (D/d/H=79/20/103mm) zur Messung der Gaspermeabilität sowohl in Axialrichtung als auch in Radialrichtung bei unterschiedlichen Außenbelastungen von bis zu 30 MPa durchgeführt. Folgende Hauptergebnisse wurden ermittelt:

- Nach der Herstellung wurde die Probe mehr oder weniger geschädigt. Ihre Permeabilität wurde zu  $10^{-15} \text{ m}^2$  bestimmt.
- Erhöhung der Außenbelastung von 2 auf 28 MPa bewirkte eine deutliche Reduzierung der radialen Permeabilität um 6 Größenordnungen auf  $10^{-21} \text{ m}^2$ . In der Entlastungsphase zeigte die Permeabilität um 1 bis 2 Größenordnungen niedrigere Werte als in der Belastungsphase.
- Nach Abdichtung des Bohrloches wurde die axiale Permeabilität bei unterschiedlichen Belastungen gemessen. Bei Erhöhung der Belastung wurde die Probe kompaktiert und somit auch eine niedrigere Permeabilität beobachtet. Bei niedrigen Spannungen kleiner als 10 MPa liegen die axialen Permeabilitätswerte um ca. 1 Größenordnung über den radial gemessenen Werten. Bei hohen Spannungen sind die Permeabilitäten in beiden Richtungen vergleichbar.
- Bei einem Manteldruck von 2 MPa und einem Injektionsdruck von 1 MPa wurden ca.  $20 \text{ cm}^3$  Wasser über 50 Tage in die Probe injiziert. Ein Wasserausfluss wurde in diesem Zeitraum nicht beobachtet.
- Nach der Wasseraufsättigung wurde Gasinjektionsdruck stufenweise erhöht. Dabei wurde der Gasdurchbruchdruck von ca. 1.5 MPa für die gesättigte Probe gemessen.

Der Versuch wird am Anfang 2006 beendet und ausgewertet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Erstellung eines NF-PRO-Zwischenberichts über die Vorversuche zur ALZ-Verheilung in Tonstein
- Modellierung des großen ALZ-Verheilungsversuchs
- Vorbereitung und Durchführung des großen ALZ-Verheilungsversuchs

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |
|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9844</b>         |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2004 bis 31.12.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>130.000,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

Das Unterprojekt 5 (RTDC 5) des Gesamtprojekts NF-PRO gliedert sich in zwei 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. Beispiele für solche Untersuchungen sind die chemische Zement-Ton-Wechselwirkung, die Glaszersetzung in einer durch Ton dominierten Umgebung, der Korrosionsfortschritt von Stahl innerhalb einer Ton- oder Granitumgebung, die Diffusion von Korrosionsprodukten, Gas-

produktion durch anaerobe Korrosion, Radiolyse und  $\alpha$ -Zerfall sowie Gasausbreitung durch die Formation. Diese Arbeiten sind zumeist noch nicht abgeschlossen; jedoch wurden gemäß der Projektplanung Zwischenberichte im Entwurf erstellt (Reports on mass balances and energy flows). Von der GRS wurde die endgültige Version des Konzeptberichts zur Salzformation erstellt und der Gesamtprojektleitung sowie der EC übergeben.

Der erste Schritt der im „Calculation Plan“ vorbereiteten Modellrechnungen wurde abgeschlossen. Dieser umfasst zeitunabhängige Massenbilanzabschätzungen zu Wasserspeicherung und -transport im Nahfeld, Sauerstoffverbrauch durch aerobe Korrosion, Wasserverbrauch durch anaerobe Korrosion, Volumenzunahme durch Korrosion, Gaserzeugung durch Korrosion sowie Druckaufbau im Nahfeld.

Die Abschätzungen wurden für die Einlagerungskonzepte

- abgebrannte Brennelemente, eisenbasierte Behälter, Tonformation und
- abgebrannte Brennelemente, eisenbasierte Behälter, Salzformation

durchgeführt. Bei beiden Konzepten wurden die Einlagerungsarten „Bohrloch“ und „Strecke“ unterschieden. Es wurden vier Szenarien betrachtet: Flüssigkeitsgesättigter Porenraum, dichter Verschluss, Residuale Porenraumsättigung, dichter Verschluss (nur für Salz), Vollständige Behälterkorrosion, durchlässiger Verschluss, keine Gasspeicherung, Vollständige Behälterkorrosion, durchlässiger Verschluss, Gasspeicherung. Zur Dokumentation der Ergebnisse wurde ein Bericht erstellt (Report on mass balances and flows for the SF/salt/steel and the SF/clay/steel concepts).

Für den zweiten Schritt der Modellrechnungen sind zeitabhängige Rechnungen mit je einem einfachen gekoppelten Modell für ein Bohrloch und eine Einlagerungsstrecke vorgesehen. Dazu wurde die Entwicklung des Bohrlochmodells, welches zum Einbau in das Nahbereichs-Rechenprogramm LOPOS konzipiert ist, weitergeführt. Das Modell beschreibt neben den oben aufgeführten Effekten für den Fall der Salzformation zusätzlich die Konvergenz. 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. Zur Verifikation des Modells wurde eine einfache Endlagerstruktur in einer Salzformation, bestehend aus einem Einlagerungsbohrloch, einer Beschickungsstrecke und einem Verschluss definiert. Die oben aufgeführten Szenarien wurden nachmodelliert und mit dem Modell gerechnet. Die Ergebnisse für große Zeiten wurden mit den entsprechenden Resultaten der zeitunabhängigen Bilanzabschätzungen verglichen. Es zeigte sich eine gute Übereinstimmung.

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

Fertigstellung und Freigabe des Berichts zu Massenbilanzen und Strömen. Fortführung der Entwicklung der gekoppelten numerischen Modelle. Das Bohrlochmodell für Salz liegt in einer ersten Version vor, muss aber noch anhand weiterer Testfälle überprüft und gegebenenfalls erweitert oder korrigiert werden. Auf Basis der Ergebnisse anderer Projektpartner soll ein realistischer Korrosionsansatz eingebaut werden. Das Modell ist in die Programmstruktur von LOPOS einzubinden. Weiterhin ist ein entsprechendes Modell für eine Einlagerungsstrecke zu entwickeln. Da LOPOS primär für die Modellierung von Endlagern in Salzformationen konzipiert ist, ist zu prüfen, inwieweit für die Anwendung auf Tonformationen Modifikationen am Rahmenprogramm sowie an den Modellprogrammen vorzunehmen sind. Mithilfe der gekoppelten Modelle sollen detaillierte Untersuchungen der Zeitentwicklung von Einlagerungsstrecken und –bohrlöchern für verschiedene Konzepte und Szenarien durchgeführt und verglichen werden. Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse.

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

DELIVERABLE (D-N°:5.1.1), Part 4: LONG-TERM SAFETY ASSESSMENT OF THE NEAR FIELD IN ROCK SALT. Reference Concept (Spent Fuel-Carbon Steel-Salt)

DELIVERABLE (D-No: 5.1.x): MASS BALANCES AND FLOWS FOR THE SF/SALT/STEEL/ AND THE SF/CLAY/STEEL CONCEPTS (draft)

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine  |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9854</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1)                          |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.02.2004 bis 31.01.2009   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>2.799.659,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Brennstabkockillen 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

**AP2:** Der Bericht zur Konzeptplanung wurde fertig gestellt und der EU-Kommission sowie dem Projektträger PTKA-WTE übersandt.

**AP4:** Die Entwurfsplanung der Komponenten Transferbehälter, Bohrlochschleuse und Einlagerungsvorrichtung wurde abgeschlossen. Daraus ergibt sich für den internen Transferbehälter eine Gesamtlänge von ca. 5,5 m, einen Durchmesser von ca. 1,3 m und eine Masse von ca. 45 t ohne Brennstabkockille 3. Die Einlagerungsvorrichtung wird demnach eine Länge von ca. 12 m, eine Breite von 4,70 m, eine maximale Höhe im ausgefahrenen Zustand von 6,15 m und ein Transportgewicht ohne Transferbehälter von ca. 67 t haben.

Im Berichtszeitraum wurde die Erstellung eines Bohrlochkellers mit Hilfe einer Kettenschrämmaschine untersucht. Weiterhin wurden für den Versuchsbetrieb ermittelt, dass ein vollständiger Einlagerungszyklus am zukünftigen Versuchsort ca. 1 Stunde erfordert.

Hinsichtlich der Spurweite des Einlagerungssystems wurde festgestellt, dass eine Spurweite von 2000 mm für die Komponenten sicherheitstechnische Vorteile hat. Hintergrund ist, dass der Behälter zwischen die Schienen auf die Bohrlochschleuse gesetzt werden kann, ohne dass zusätzliche störanfällige Mechanismen zur Erweiterung eines Normalspurschienenabstandes (1435 mm) bei der Einlagerung eingesetzt werden müssen.

Auf der Basis der Entwurfsplanung der Einlagerungsvorrichtung und des Transferbehälters erfolgte die Überprüfung des vorhandenen POLLUX-Transportwagens hinsichtlich der Einsatzfähigkeit im Endlager-system Bohrlochlagerung. Hierbei zeigte sich, dass auf Grund der Schwenkbalkenkonstruktion der Einlagerungsvorrichtung zum Aufsetzen des Behälters auf die Bohrlochschleuse, des geringeren Durchmessers des Transferbehälters und einer erforderlichen Spurweite von 2000 mm ein Neubau des Plateauwagens erforderlich wird.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP3:** Der Bericht zur Entwurfsplanung wird fertig gestellt und der EU-Kommission und dem Projektträger PTKA-WTE übersandt.

**AP4:** Die Spezifikationen und Komponentenbeschreibungen für die Komponenten Einlagerungsvorrichtung und Bohrlochschleuse werden fertig gestellt und das Vergabeverfahren für die Ausführungsplanung durchgeführt. Für den Neubau der Komponenten Plateauwagen wird eine Entwurfsplanung zur Ermittlung der günstigsten Realisierungsmöglichkeit vergeben.

Es wird angestrebt, mit der Unterstützung der Industrie, die Ausführungsplanung des internen Transferbehälters zu beginnen. Der voraus gewählte mögliche Versuchsort Kraftwerk Robert Frank in Landesbergen bei Nienburg ist vertraglich für die Versuchsvorbereitung und -durchführung einzubinden. Weiterhin sind die Einflüsse der Ergebnisse der Studie Einwirkungen des Gebirges auf die BSK 3 auf das Endlagersystem zu überprüfen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60,<br>04279 Leipzig  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 E 9874</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation                                    |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2004 bis 31.12.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>81.058,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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

IfG war Gastgeber für das 2. “Co-ordination Meeting - WP 4.2 - EDZ Characterisation” (01.12.2005 – 02.12.2005). Dabei wurde auch eine Exkursion zum Steinsalzbergwerk Bernburg mit Befahrung verschiedener Untersuchungsorte durchgeführt.

AP 3: Zur Bestimmung der Textur der Tonminerale im Opalinuston sind von K. Ullemeyer (Freiburg) erste Neutronenbeugungsexperimente an einer Zylinderprobe aus Opalinuston am Texturmessplatz des Impulsreaktors IBR-2 des Vereinigten Instituts für Kernforschung (VIK) Dubna (Russische Föderation) durchgeführt worden. Die Ergebnisse zeigen aber, dass aufgrund der vorliegenden Streuung durch Hydratphasen Texturen der Tonminerale bzw. Schichtsilikate mit Neutronen offenbar nicht bestimmbar sind.

AP 5: Injektionsexperimente an Opalinuston unter simulierten In-situ-Bedingungen (bis 10 MPa hydrostatische Belastung) zeigen, dass die initial von der EDZ beeinflussten Gesteinspermeabilitäten je nach Auflockerung der Proben sowie richtungsabhängig um bis zu 5 Größenordnungen variieren können und Zeit- und Druckabhängig abnehmen. Dabei treten visko-kapillare Zweiphasenflusseffekte auf.

Die bisher durchgeführten Festigkeitsuntersuchungen belegen den Einfluss der schichtinduzierten Gefügeanisotropie auf das Festigkeits- und Dilatanzverhalten. Danach nehmen die Bruchspannungen bzw. Verformbarkeit von Proben, die parallel zur Schichtung erbohrt wurden, bis zum Bruch mit steigendem Manteldruck systematisch zu. Hingegen ist die Verformbarkeit von senkrecht zur Schichtung belasteten Proben nahezu doppelt so groß, aber die Bruchspannungen sind insgesamt niedriger. Bei beiden Probengeometrien dominiert Spröbruchverhalten mit charakteristischen Rissmustern.

Die unter deviatorischer Belastung durchgeführten Permeabilitätsuntersuchungen weisen nach, dass mit einer spannungsinduzierten Verformung zunächst Kompaktionsprozesse dominieren, so dass scheinbar Dilatanz- und Festigkeitsgrenze zusammenfallen. Nur bei parallel zur Schichtung belasteten Proben und  $\sigma_3 > 5$  MPa wurde eine deformationsbedingte Permeabilitätszunahme beobachtet, die auch erst im Moment des Probenbruchs auftrat. Unabhängig davon belegen die Ultraschallmessungen, dass es analog zu den Ergebnissen bei Salzgesteinen bereits bei Spannungen deutlich niedriger als die Gesteinsfestigkeit zu lokaler Mikrorissbildung kommt. Aufgrund der räumlich begrenzten Reichweite der Rissbildung in der extrem feinkörnigen und weichen Tonmatrix findet aber offenbar keine Vernetzung dieser Risse statt, so dass die hydraulische Integrität des Gesteins nicht beeinflusst wird.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP 5: Fortsetzung der Untersuchungen in der triaxialen Prüfmaschine des IfG bei erhöhten Manteldrücken mit simultaner Volumenmessung, Durchströmung und Durchschallung von Tonsteinen mit unterschiedlicher Belastungsrichtung zur vorliegenden Schichtung.

AP 7: Fortführung Umsetzung der im direkten Schergerät gewonnenen Versuchsergebnisse in ein neu von Minkley entwickeltes Modell zur Beschreibung von Trennflächeneigenschaften.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |
|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9884</b>         |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2004 bis 31.12.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>510.492,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Umwandlungen 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

Alle geplanten Versuche wurden wie vorgesehen durchgeführt. Die 1-Jahresversuche sind abgeschlossen und die Analysen der Lösungen und der Festkörper weitgehend abgeschlossen. Quelldruckmessungen liegen mit Original-MX80 und allen in den Versuchen eingesetzten Lösungen (Wasser, Bureton-Porenlösung, Äspö-Granitwasser, NaCl-Lösung, IP21-Lösung, Zementporenwasser, NaCl-Lsg.+M2-Salzbeton, IP21-Lsg.+M2-Salzbeton) vor. Wie erwartet, stellte sich, bei einheitlicher Kompaktion von  $1,6 \text{ g/cm}^3$ , ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Höhe des Quelldrucks und dem freien Wassergehalt der Lösungen heraus. (Wasser 30 bar, Äspö-Granitwasser 25 bar, Bureton-Porenlösung 28 bar, Zementwasser 20 bar). Um ca. 10 bar niedriger liegen die Quelldrucke mit salinaren Lösungen (IP21 9,7 bar, IP21/Salzbeton 8,6, NaCl 8,3, NaCl/Salzbeton 6,4). Es fällt auf, dass der Einfluss von M<sup>2+</sup>-Salzbeton zu einer, gegenüber den reinen Salzlösungen, noch weiteren Herabsetzung des Quelldrucks führen. Quelldrucke wurden weiterhin an der Montmorillonitfraktion des MX-80 mit den o.g. Lösungen nach einer Reaktionszeit in BATCH-Versuchen von 7 Tagen und einem Jahr gemessen. Auffällig und bisher noch nicht erklärbar ist der Anstieg der Quelldrucke nach einem Jahr gegenüber den 7-Tageproben. Dies gilt für die bisher gemessenen Proben mit Wasser und IP21-Lösung.

Die mineralogischen Untersuchungen wurden an der Montmorillonitfraktion des MX-80 Bentonits nach einer Reaktionszeit von sieben Tagen und einem Jahr durchgeführt. In allen Proben waren bei den XRD-Messungen keine nennenswerten Änderungen feststellbar, d.h. die Montmorillonite waren auch nach einem Jahr noch auf 17 Angstrom voll aufweitbar. Dagegen konnten unter dem TEM in allen Proben deutliche Veränderungen festgestellt werden. Verändert hatten sich nach einem Jahr Reaktionszeit sowohl Korngröße, als auch der Habitus der Montmorillonite und deren räumliche Orientierung. Das Ausgangsmaterial ist durch eine filmartige Matrix charakterisiert. Diese geht nach einem Jahr, in Abhängigkeit der Reaktionslösung, mehr oder weniger stark in eine Matrix mit größeren, diskreten, und eingeregeltten Einzelpartikeln über. Dieser Effekt ist in den Proben zement- und Betonhaltigen Lösungen besonders ausgeprägt. Ein konkreter Zusammenhang zwischen den mineralogischen Änderungen und den gemessenen Quelldruckwerten ist bisher noch nicht erkennbar. Dafür müssen die weiteren Messungen und Auswertungen abgewartet werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fortführung der Experimente und Durchführung der noch ausstehenden Messungen an den 1-Jahresproben.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Herbert, H.-J. (2005): Zum Kurz- und Langzeitverhalten von Bentonit als Dichtstoff in Salzformationen -. Tagungsband, Altbergbaukolloquium Clausthal-Zellerfeld, 3.-5. November 2005, 9 S.

Herbert, H.-J (2006): Effects of concrete degradation on bentonite and geochemical conditions in the near-field. - NF-PRO RTDC2 meeting, Brussels, January, 18. - 19. 2005

Kasbohm J. and Herbert, H.-J. (2006): Mineralogical alterations of MX-80 in saline solutions – a TEM study- NF-PRO RTDC2 meeting, Brussels, January 18. - 19. 2005

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9894</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor - Hauptprojekt   |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2004 bis 31.12.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.276.254,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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:** Die Zweiphasenflussuntersuchungen an Ton/Sand-Proben 35/65 und 50/50 wurden beendet. Bei den 35/65er Proben trat der Gasdurchbruch bei 0,7 bzw. 0,793 MPa auf. Die Gasdurchbruchdrücke bei den 50/50er Proben ergaben sich zu 0,7 und 0,73 MPa. Nach dem Gasdurchbruch trat eine drastische Erhöhung des Gasflusses ein. Die Fließraten lagen in einer vergleichbaren Größenordnung wie bei den ungesättigten Proben im Ausgangszustand.

**AP2:** Nach erfolgter Ermittlung der einphasen Gas- und Wasserpermeabilitäten im Technikumsversuch 1 (Ton-Sand-Mischung 35/65) wurde zum Zwecke der Bestimmung des verbleibenden Quelldrucks die Wasserinjektion eingestellt. Nach Abbau des überlagernden Porendruckes wurde unmittelbar unter dem Packer ein verbleibender Quelldruck von 0,1 MPa registriert. Innerhalb des Dichtelements wurden Porendrücke zwischen 0,009 MPa und 0,067 MPa und Quelldrücke zwischen 0,012 MPa und 0,028 MPa gemessen.

Im Technikumsversuch 2 (Ton-Sand-Mischung ebenfalls 35/65) dauert die Aufsättigung auf Grund der geringen Wasserfließrate von ca. 25,7 cm<sup>3</sup>/d wie erwartet noch an. Die Porenwasser- und Quelldrücke an der Eintrittsseite betrug ca. 1 MPa, was auch dem Injektionsdruck entspricht. In der Mitte des Dichtelements betragen die Porenwasser- bzw. Quelldrücke 0,645 MPa bzw. 0,904 MPa. Im oberen Bereich des Dichtelements war noch keine Druckerhöhung zu beobachten.

Der erste In-situ-Versuch im Mont Terri Untertagelabor wurde Ende Oktober 2005 mit der Bestimmung der Gaspermeabilität des Dichtelements begonnen. Unter Berücksichtigung der am Ausgang des Dichtelements gemessenen Fließraten wurde für verschiedene Injektionsdrücke ein mittlerer Wert von 3,71E-14 m<sup>2</sup> errechnet, der sehr gut mit den im Labor und in den beiden Technikumsversuchen ermittelten Messwerten übereinstimmt. Die Massenbilanz zwischen eingepresster und der austretender Gasmenge weist auf das erwartete Abfließen von Gas in das umgebende Gebirge hin. Die Aufsättigung des Dichtelements wurde nachfolgend zur Bestimmung der Gaspermeabilität mit einem zunächst relativ niedrigen Injektionsdruck von ca. 0,5 bar begonnen. Die bisher gemessenen Injektionsraten deuten darauf hin, dass die erwartete Dichtfunktion auch unter den ungünstigeren In-situ-Verhältnissen nachgewiesen werden kann.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Bestimmung des Gasdurchbruchdruck im Technikumsversuch 1 und abschließende Auswertung des Versuchs
- Weiterführung des Technikumsversuchs 2
- Weiterführung In-situ-Versuch 1, Planung und Vorbereitung In-situ-Versuch 2

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Rothfuchs, T., Jockwer, N., Miehe, R., Zhang, C.: Clay/Sand Mixtures as Optimized Geotechnical Barriers for Disposal Rooms Containing Gas Generating Wastes, Proc. 10th Int. Conf. on Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM'05, Sept. 4-8, 2005, Glasgow, Scotland

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60,<br>04279 Leipzig  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 E 9904</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein   |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2004 bis 31.12.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>98.531,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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 2: Durchführung eines ergänzenden Triaxial/Permutationsversuches an einem zylindrischen Prüfkörper aus hochkompaktiertem Salzgrus mit einem erhöhten Wassergehalt. Bestimmung der Transporteigenschaften in Abhängigkeit vom Spannungs-Verformungszustand und Auswertung hinsichtlich einer Zweiphasenströmung.

Die Erhöhung des Wassergehaltes führt bei gleichen Versuchsbedingungen zunächst zu einer Erhöhung der Kompaktionsraten, die nach Erreichen einer volumetrischen Kompaktion von ca. 7% bei einer weiteren deviatorischen Verformung in ein dilatantes Materialverhalten umschlägt, ohne dass sich dabei die Permeabilität erhöht.

Die bei diesem Versuch ermittelten Gasinjektionsdrücke liegen um den Faktor Drei über bisher bestimmten Werten an zumeist anderen Gesteinen.

AP 5: Weiterführung 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.

AP 6: Beginn der Stoffgesetzauswahl zur Beschreibung des beobachteten Materialverhaltens. Anpassung der IfG-Stoffgesetze auf der Basis der experimentellen Ergebnisse.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP 5: Abschluss der Langzeit-Kriechversuche über eine Dauer von 12 Monaten mit verschiedenen Manteldrücken und unterschiedlichen Wassergehalten an zylindrischen Prüfkörpern aus hochkompaktiertem Salzgrus. Erarbeitung eines Zwischenberichtes zu diesen Laborversuchen.

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

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

SPIERS, C. J.; GRUPA, J.; POPP, T.; SALZER, K.; STÜHRENBERG, D.; ZANG, X. (2005): Buffer/Backfill in Salt: Long-term compaction, effect of additives and behaviour of pre-compacted bricks. NF-PRO Second Training Course and Workshop, Cardiff, 19.-20.10.2005

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9914</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Goelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ                         |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2004 bis 30.11.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>112.834,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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.

*Laboruntersuchungen:* Zur Vorbereitung des vorgesehenen großen Ventilationsversuches wurde ein Vorversuch an einem großen Tonkern aus Bure 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. In der ersten Phase wurde der gelochte Prüfkörper mit 5 und 15 MPa belastet. Dabei wurden die Axial-, Radial- und Volumenverformung sowie die Bohrungskonvergenz gemessen. Nach acht Tagen wurde die Probe durch einen Stromausfall geschädigt, wodurch der vorgesehene weitere Versuchsprozess mit Ventilation der Zentralbohrung nicht wie geplant zu Ende gebracht werden konnte. Die Vorbereitung eines neuen Versuchs und die Erprobung des Ventilationsystems wurden aufgenommen bzw. weitergeführt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der geoelektrischen Feldmessungen bis Frühherbst 2006
- Entnahme von großen Tonkernen aus Mont Terri für Laborversuche
- Starten und Durchführung des großen Ventilationsversuchs
- Modellierung des großen Ventilationsversuchs

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Rothfuchs, T., Wieczorek, K.: Monitoring Moisture Distribution in Engineered Barrier Systems and Host Rocks by Geoelectric Tomography, WM-5161, Waste Management '05 Conference, February 27 – March 03, 2005, Tucson, AZ.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14415 Potsdam   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9924</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Huminstoff-Metall-Komplexierung (Teil Antrag im Verbund „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“) |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2004 bis 31.03.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>211.563,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Löhmannsröben      |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Bestimmung von konditionellen Komplexbildungskonstanten und thermodynamischen Daten

AP2: Ermittlung der mittleren Abstände  $r$  von Metallbindungsstellen in Huminstoffen

AP3: Untersuchung der Kinetik der Huminstoff-Metall-Assoziation

AP4: Konformationsdynamik in Huminstoff-Metall-Komplexen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

(AP1) Die Bestimmung der konditionellen Bindungskonstanten bei Raumtemperatur und einer Ionenstärke von 0,01 M (NaClO<sub>4</sub>) wurde abgeschlossen. Die Komplexbildungskonstanten, die aus der Löschung der intrinsischen Fluoreszenz des HS gewonnen werden, sind jedoch nicht kongruent mit denen, die sich aus der Auswertung der sensibilisierten Lumineszenz der Lanthanoiden (Eu<sup>3+</sup> und Tb<sup>3+</sup>) ergeben. Der Vergleich der Komplexbildung von HS mit Eu<sup>3+</sup> und Tb<sup>3+</sup> zeigt weiterhin, dass die Sensibilisierung in Tb<sup>3+</sup>-HS Komplexen eine Größenordnung stärker ist als in den entsprechenden Eu<sup>3+</sup>-Komplexen.

(AP2) Zur Bestimmung von Bindungsabständen in HS wurden Messungen von Eu<sup>3+</sup>-Nd<sup>3+</sup>-Paaren durchgeführt. Mit solchen Lanthanoid-Paaren ist es möglich über den Inter-Lanthanid-Energietransfer nach dem Förster-

Mechanismus bei Kenntnis der entsprechenden Parameter Abstände zwischen den beiden Metallen dieses Paares abzuleiten. Diese Paare bestehen aus einem Donor ( $\text{Eu}^{3+}$ ) und einem Akzeptor ( $\text{Nd}^{3+}$ ). Durch den zusätzlichen Deaktivierungskanal, den der Energietransfer bietet, sinkt die Lumineszenzintensität und die Lumineszenzlebensdauer des  $\text{Eu}^{3+}$  in Anwesenheit des Akzeptors gegenüber der Situation, in der nur Donor vorliegt. Da jedoch die Lumineszenzlebensdauer des  $\text{Eu}^{3+}$  im HS selbst eine Funktion der Gesamtkonzentration an Lanthanoid ist, muss für diese Messungen diese Abhängigkeit bekannt sein. Aus der zusätzlichen Abnahme der Lumineszenzlebensdauer bei Zusatz von  $\text{Nd}^{3+}$  ist es dann möglich die Effizienz des Energietransfers zu bestimmen. Diese Effizienz liegt für die Gohy573 FA bei bis zu 10%. Daraus resultiert ein Förster-Abstand von ca. 1,1 nm.

(AP3) Die ersten Messungen zur Metall-HS-Assoziation zeigten große Unterschiede zwischen HA und FA. Während HA eine Abnahme der Lumineszenzintensität durch Metallkoordinierung im Bereich von Millisekunden bis Sekunden zeigen, erfolgt die Löschung der intrinsischen FA-Fluoreszenz unterhalb von Millisekunden und liegt damit unterhalb der Totzeit der stopped-flow-Apparatur. Ein anderes Problem stellt die untergrundfreie Messung des  $\text{Tb}^{3+}$ -Signals dar. Durch die bis zu 600 nm auftretende intrinsische Fluoreszenz der HS ist die durch die Sensibilisierung über den HS anwachsende  $\text{Tb}^{3+}$ -Lumineszenz überlagert von einer abnehmenden HS-Fluoreszenz.

(AP4) In ersten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Komplexierung von  $\text{Eu}^{3+}$  einen Einfluss auf die Rotationskorrelationszeit  $\phi$  der HS hat. So zeigt sich bei einer Erhöhung der  $\text{Eu}^{3+}$ -Konzentration eine Abnahme von  $\phi$ . Das könnte zu dem Schluss führen, dass durch Komplexierung die Ausdehnung der HS-Moleküle abnimmt. Weitere Messungen zeigten zudem den erwarteten Trend, dass bei Erhöhung der Temperatur, das bedeutet eine Abnahme der Lösungsmittelviskosität, die Rotationskorrelationszeit ebenfalls abnimmt.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

(AP1) Die Auswirkungen der Änderung von Umgebungsparametern wie Temperatur und Ionenstärke sollen durch Wiederholung der bereits durchgeführten Messungen mit den im Verbund als Referenz eingesetzten HS bei anderer Ionenstärke ( $I = 0,1 \text{ M}$ ) und einer höheren Temperatur ( $\vartheta = 40^\circ\text{C}$ ) durchgeführt werden. Die Ergebnisse dieser Messungen werden dann mit den bereits bestimmten Parametern verglichen.

(AP2) Zur Bestimmung von Abständen in HS mittels Inter-Lanthanid-Energietransfer soll auf eine breitere Datenbasis gestellt werden. In Ergänzung zu den  $\text{Eu}^{3+}$ - $\text{Nd}^{3+}$ -Paaren soll noch  $\text{Tb}^{3+}$  als Donor eingesetzt werden. Zusätzlich könnte in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Karlsruhe die Verwendung eines Actinoides (z.B.  $\text{Cm}^{3+}$ ) die Möglichkeit für einen Actinid-Lanthanid-Energietransfer verdeutlichen. Bei Vorhandensein eines solchen Energietransfers könnten die mit den Lanthanoid-Paaren gewonnen Abstände verifiziert werden. Die spektroskopischen Eigenschaften des  $\text{Cm}^{3+}$  könnten ergänzend genutzt werden, um aus den Tieftemperaturmessungen mit  $\text{Eu}^{3+}$  die Natur der HS-Metall-Komplexe klären zu können.

(AP3) In den stopped-flow Experimenten sollen zunächst Modellverbindungen wie *p*-Hydroxybenzoesäure eingesetzt werden, um ein besseres Verständnis der ablaufenden Prozesse mit relativ einfachen Liganden zu bekommen. Um die Verhältnisse in HS nachvollziehen zu können, sollen mit unterschiedlichen Lösungsmittelviskositäten, die gehinderte Beweglichkeit der Lanthanoidionen nachempfunden werden. In Ergänzung der stopped-flow Experimente werden zukünftig Messungen der stationären und zeitaufgelösten Fluoreszenzanisotropie sowohl an Referenz-HS als auch an Modellverbindungen erfolgen.

(AP4) Im nächsten Halbjahr soll verstärkt die Photodynamik der HS-Metall-Komplexe beleuchtet werden. Dazu werden bei unterschiedlichen Temperaturen HS in An- und Abwesenheit von Metallionen mittels stationärer und zeitaufgelöster Fluoreszenzspektroskopie untersucht.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

M.U. Kumke, S. Eidner, T. Krüger, *Fluorescence quenching and luminescence sensitization in complexes of Tb(III) and Eu(III) with humic substances*, Environmental Science & Technology 39(24), 9528-9533 (2005)

S. Eidner, T. Krüger und M.U. Kumke, Investigation of interactions between  $\text{Ln}^{3+}$  and HS using time-resolved luminescence spectroscopy and stopped-flow-fluorescence measurements, Vortrag Migration '05, Avignon, Frankreich

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9934</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)  |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2004 bis 31.07.2007   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>801.600,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Fein                     |  |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Fertigstellung der in den Jahren 1995-2003 unter BMBF- bzw. BMWA-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 zwei unterschiedliche dreidimensionale hydrogeologische Modelle erstellt und in Zusammenarbeit mit der Uni Heidelberg entsprechende Rechengitter erzeugt. Inzwischen sind Strömungsfelder berechnet und die Arbeiten zur Erstellung der Transportmodelle begonnen worden.

Bezüglich der Modellierung des Zinktransports in Cape Cod, USA, wurden die zur Verfügung stehenden Daten gesichtet. Es wurde ein einfaches 2D-Vertikalmodell für die Strömung aufgebaut, bei dem eine horizontale Parallelströmung und die Grundwasserneubildung überlagert werden. Für dieses Strömungsfeld wurde der Transport von Zink und Protonen modelliert. Die Randbedingungen sowohl für das Zink als auch für die Protonen wurden der Literatur entnommen. Unter Berücksichtigung einer vom pH-Wert (Protonenkonzentration) abhängigen Retardierung des Zinktransports kann die bei Cape Cod gemessene Zinkverteilung vom Modell qualitativ wiedergegeben werden. Die Abhängigkeit des  $K_D$ -Wertes vom pH-Wert wurde aus der chemischen Modellierung eines entsprechenden Experimentes gewonnen. Es wurde begonnen, dreidimensionale Modelle für die Strömung und den Transport zu erarbeiten.

Mitarbeiter von Prof. Vereecken am Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre, Institut Agrosphäre des Forschungszentrums Jülich haben mit Hilfe von Pumpversuchen in ca. 20 voll verfilterten Grundwassermessstellen mit einem Flowmeter und aus ca. 400 Sedimentproben granulativ die hydraulischen Durchlässigkeiten für das Testfeld Krauthausen bestimmt. Diese Daten sind Ende des Jahre 2005 der GRS zur Verfügung gestellt worden. Zur Zeit werden diese Daten gesichtet und zur Verwendung in dem Strömungsmodell  $d^3f$  aufbereitet.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

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

Keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9944</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Goelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2  |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2004 bis 31.07.2007   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>191.167,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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. Im Zentrum von Sektion II ist die Resistivität noch etwas höher, entspricht aber mindestens 18 %. Gegenüber dem letzten Halbjahr verkleinerte sich der zentrale Bereich erhöhter Resistivität.

Bei den Messungen im Buffer wurde die erwartete Verringerung der Resistivität mit der Wasseraufnahme festgestellt. Auch hier zeichnet sich eine Vergleichmäßigung der Resistivitätsverteilung ab, obwohl die extremen Resistivitätskontraste im Messgebiet (Buffer/Gebirge) die Genauigkeit der Messungen beeinträchtigen. Inzwischen ist die Resistivität nahezu im gesamten Buffer auf Werte unterhalb  $13 \Omega\text{m}$  zurückgegangen. Entlang der Messketten im Buffer sind die Resistivitätswerte immer noch etwas erhöht, was darauf schließen lässt, dass eine Vollsättigung noch nicht erreicht ist.

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).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP 1:** Weiterführung der In-situ-Messungen

**AP 2:** Komplettierung des Versuchsaufbaus und Durchführung des Aufsättigungsversuchs

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9954</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern  |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.11.2004 bis 31.07.2008   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.219.102,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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 an den Treffen der NEA-Arbeitsgruppe IGSC der NEA Arbeitsgruppe zum Thema „Timing of high-level waste geological disposal“ und an der Abschlussveranstaltung des NEA-Sorptionsprojekts Phase II in Paris.

- Teilnahme am 3. EBS-Workshop der NEA mit dem Thema „Role of PA/Process models“ mit einem Beitrag.
- Verfolgung der Arbeiten in der Arbeitskomponente RTDC6 im EU-Projekt FUNMIG zur Aufbereitung der Ergebnisse für Langzeitsicherheitsanalysen.
- Aufarbeitung des Stands des Wissens zu Sicherheits- und Performanceindikatoren und Auswahl von Indikatoren für Endlager in Salz- und Tonformationen. Zusammenfassende Darstellung auf der ICEM 05 in Glasgow als Poster.
- Durchführung von Modellrechnungen mit dem Programm VAPMOD zum Benchmark in der EBS Task-Force. Vorstellung der Ergebnisse auf dem 2. EBS Task-Force Meeting in Barcelona. Durchführung weiterer Modellrechnungen auf der Grundlage der Gleichgewichtshydratation (empirisches „Diffusionsgesetz“). Erstellung eines Berichtsentwurfs.
- Durchführung orientierender Modellrechnungen zum kolloidgetragenen Transport von Americium in einer gefüllten Kluft am Standort Grimsel (CRR-Experiment). Teilnahme am Planungstreffen der Modellierungsgruppe zum CFM-Projekt.

TA 2:

- Zusammenstellung von Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf gebirgsmechanische, hydrogeologische und hydrochemische Verhältnisse im Fernfeld eines Endlagers. Erstellung eines vereinfachten hydrogeologischen Modells für das Deckgebirge eines Endlagers im Salz zur Untersuchung der Auswirkung klimatischer Veränderungen.

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

TA 1:

- Teilnahme am jährlichen RWMC-Meeting in Paris.
- Mitarbeit bei den IGSC-Initiativen zu AMIGO und INTSEC. Bearbeitung der Fragebögen als Basis für entsprechende Statusberichte.
- Mitarbeit in der NEA-Arbeitsgruppe „Timing of high-level waste geological disposal“. Darstellung der Situation in Deutschland bezüglich der angestrebten Inbetriebnahme eines Endlagers für HAW als Teil des zu erarbeitenden internationalen NEA-Berichts.
- Sichtung internationaler Studien und Zusammenstellung von Elementen, die für den Safety Case eines potentiellen deutschen Endlagers relevant sind.
- Definition eines Referenzfalls für ein Endlager in einer Salzformation und Durchführung von Modellrechnungen zur Bestimmung von Sicherheits- und Performanceindikatoren.
- Fertigstellung des Berichts zum Aufsättigungsverhalten von Bentonit
- Verhalten von Auflockerungszonen in Ton

TA 2:

- Weitführung gemäß Arbeitsplan

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

Kröhn, K.P.: New evidence for the dominance of vapour diffusion during the re-saturation of compacted bentonite. *Engineering Geology*, Vol. 82, Issue2, 2005

Becker, D.-A.: Safety and Performance Indicators in Long-Term Safety Assessment of Underground Repositories. ICEM05-1454, ASME 2005.

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine  |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9965</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barrieresystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA                  |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.06.2005 bis 31.05.2008   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>460.416,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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

Zu 1 und 4:

Im Berichtszeitraum wurde im Rahmen ein Arbeits- und Informationsgespräches mit VNIPI PT die Vorbereitung und Durchführung des geplanten In-situ-Abdichtexperimentes besprochen. Im Mittelpunkt des Gespräches standen dabei Vorversuche zur Bentonit- und Sensor-einbringung in Bohrungen, die sicherstellen sollen, dass das Versuchsziel erreicht wird.

Zu 3:

Begonnen wurde mit einer Datenzusammenstellung als Grundlage für die Modellberechnungen zur Behälterstabilität bei Scherbeanspruchung durch Kluftbewegung, die sich insofern als schwierig erwies, da kaum experimentelle Daten oder Stoffgesetzanpassungen für die in der russischen Endlagertechnik gebräuchlichen Materialien verfügbar sind. Für die Berechnungen am konzeptionellen Modell wurden die Materialparameter auf der Basis von vergleichbaren Materialien mit verfügbarer Datenangabe bestimmt, wobei zunächst nur ein vereinfachtes Materialverhalten berücksichtigt wurde. Die anschließende Berechnung zur maximalen Scherung des Einlagerungsbohrlochs ging von einem kontinuumsmechanischen Modellansatz aus. In einer ersten Abschätzung für eine Scherung auf halber Behälterlänge konnte gezeigt werden, dass Scherungen von mehr als 0,1 m der Bohrlochwandung möglich sind, ohne dass es zu einer unzulässigen Belastung des Behälters kommt. Mit den auftretenden Elementverzerungen zeigten sich jedoch auch die Grenzen für die Berechnungen mit dem derzeit verwendeten Computercode.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Um die Grenze der Scherdeformation bestimmen zu können, bis zu der ein einzelner Behälter belastet werden darf, ist eine Erweiterung in dem verwendeten Berechnungsverfahren erforderlich. Es ist die Kopplung zwischen einem Berechnungsprogramm zur kontinuumsmechanischen Modellierung mit einem für diskontinuierliche Modelle vorgesehen. 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. Die Materialbeschreibung des Bentonits wird im Hinblick auf das bislang nur unvollständig erfasste Kompaktionsverhalten verbessert. Ebenso sollen im Berechnungsmodell existierende Zwänge, die im Bereich der Materialübergänge bestehen, durch die Beschreibung des Kontaktverhaltens zwischen den Materialien abgebaut werden. Besonders vor dem Hintergrund einer Scherfuge in den Drittelpunkten der Behälterlänge bei gleichzeitiger Teilfüllung der Endlagerbehälter gewinnt eine möglichst realistische Erfassung der Behältergeometrie an Bedeutung. Hier sollen zunächst Vorabschätzungen zeigen, in wie weit auslegungsrelevante Bereiche im Deckelbereich existieren, die dann entsprechend realitätsnah modelliert werden müssen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Jobmann, M.; Lerch, C. 2005: Bewertung der Relevanz von seismisch und thermisch induzierter Scherverformung auf die Integrität technischer Barrieren. - Vortrag anlässlich des Deutsch-russischen Seminars zur Endlagerforschung am 15/16. September 2005. DBE, Peine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9975</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barrierensystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA                 |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.06.2005 bis 31.05.2008   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>432.320,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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, ohne die Standorteignung in Frage zu stellen. Umgekehrt 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.

Das Vorhaben ist eingebunden in ein Gemeinschaftsprojekt, das im Rahmen der deutsch-russischen Zusammenarbeit durchgeführt wird.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist wie folgt unterteilt:

- 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 Erweiterung des Nahfeldmodells GRAPOS für Endlager im Granit wurde durchgeführt. Es ist jetzt möglich, den Abfallbehältern unterschiedliche Standzeiten zuzuordnen. Dabei können auch Verteilungsfunktionen für die Behälterstandzeiten berücksichtigt werden. Weiterhin können mehrere unterschiedliche hydrogeologische Bereiche mit unterschiedlichen Transporteigenschaften hintereinander geschaltet werden. Dieses erweiterte Nahfeldmodell wird zurzeit intensiv getestet.

Das bisherige Modell für das Gebiet Itatskij wurde um Radionuklidzerfallsketten und elementspezifische Sorption erweitert. Die Ergebnisse der Testrechnungen sind jedoch noch nicht zufrieden stellend. Zurzeit wird geprüft, ob ein AMG-Löser Abhilfe schaffen kann.

Für das Gebiet Jennisseiskij wurden die vorhandenen Daten gesichtet und zusammengestellt. Inwieweit die bisherigen Ergebnisse des geologischen Modells der BGR in das neu zu erarbeitende Strömungs- und Transportmodell übernommen werden können, wird zurzeit geprüft.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

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

Über die Ergebnisse des Vorgängerprojektes ASTER wurde eine 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“ erstellt und eingereicht.

Vom 16. – 17. September 2005 fand in Peine bei DBEtec die Abschlussveranstaltung zum Projekt ASTER statt. Von Seiten der GRS gab es folgende Präsentationen:

W. Brewitz: Hydrogeological Modelling – Basic Requirements for Long-term Safety Assessment of Underground Waste Repositories

C. Fahrenholz: Long-Term Safety Analyses of the Itatskij Site

E. Fein: Conceptual Models for Long-Term Safety Analyses of Repositories in Granitic Rocks

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), Bautzner Landstraße<br>128 (B6), 01328 Dresden  |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 E 9985</b>     |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall  |  |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |  |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2005 bis 30.06.2008   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>282.060,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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:

1. AP1: Isolierung, Fraktionierung und Charakterisierung der natürlichen Bioliganden die von Pseudomonaden (im Äspö HRL isoliert) gebildet wurden
2. 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)
3. 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

- Erste Projektabsprache in Göteborg vom 02.-05.05.05 mit Prof. Karsten Pedersen und Anna Johnsson, Göteborg University, Department of Cell and Molecular Biology, Microbiology; Fortsetzung während der Konferenz Migration'05 in Avignon (18.-23.09.05); Ziel: Informationsaustausch zur Isolierung und Charakterisierung der von Pseudomonaden gebildeten Bioliganden
- Ausschreibung und Besetzung der Doktorandenstelle innerhalb des Vorhabens; Thematik: Untersuchungen zum Komplexbildungsverhalten von ausgewählten Actiniden (U, Np, Cm) mit speziellen Bioliganden
- Laserspektroskopische Untersuchungen zur Komplexierung von Cm(III) mit relevanten Aminosäuren unterschiedlicher Funktionalität: L2-Aminobuttersäure, L-Threonin und O-Phospho-L-Threonin
- Aufbau und Testung eines neuen Lasersystem (besonders für Cm-Speziationsuntersuchungen)
- Literaturstudium zu relevanten Bioliganden und deren Wechselwirkung mit Actiniden
- Charakterisierung der Modellliganden mittels Absorptionsspektroskopie; Beginn der Untersuchungen zur Komplexierung von U(VI) mit Salicylhydroxamsäure (SHA), Desferrioxamin B (DFB) und 6-Hydroxychinolin (6HQ) mit UV/Vis Spektroskopie

Ergebnisse, Teilziel 2 (AP2-AP4):

- Cm(III)-Komplexierung mit Aminosäuren unterschiedlicher Funktionalität mittels TRLFS: Die Stärke der Komplexierung nimmt in Abhängigkeit des Substituenten am C3-Atom vom Phosphothreonin ( $-OPO_3H_2$ ) über Threonin ( $-OH$ ) zur L2-Aminobuttersäure ( $-H$ ) ab. Die Stabilitätskonstanten wurden bestimmt. Die gewonnen Informationen sind wichtig für die Interpretation der komplexen Fluoreszenzspektren des Curiums in biologischen Systemen.
- Aufbau neues Lasersystem: Das neue System eröffnet uns neue Möglichkeiten für Speziationsuntersuchungen von Actiniden (besonders Cm) im Spurenkonzentrationsbereich. Das Lasersystem ermöglicht unter anderem durch eine kontinuierliche Veränderung der Anregungswellenlänge die Aufnahme von Cm-Anregungsspektren. Das System wurde erfolgreich mit wässrigen Lösungen des  $Cm^{3+}$ ,  $5 \times 10^{-10}$  bis  $3 \times 10^{-7}$  M, getestet.
- UV/Vis spektroskopische Untersuchung der Modelle: SHA, DFB, 6HQ und Komplexierung mit U(VI): Typische Absorptionsspektren die die wässrigen Spezies von SHA, DFB und 6HQ im sauren bis basischen pH Bereich charakterisieren, konnten detektiert werden. Eine Wechselwirkung von Uran mit SHA und DFB konnte durch eine Verschiebung der Absorptionsbanden zu niederen Wellenlängen, im Vergleich zum Uranyl-Ion, bei pH 3 und 4 nachgewiesen werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der Arbeiten zur Isolierung und Charakterisierung der natürlichen Bioliganden isoliert von Pseudomonaden in Göteborg
- Fortführung der Literaturrecherche und deren Auswertung
- Erarbeitung eines Beitrags: Complex formation of curium(III) with the amino acids L2-Aminobutyric acid and L-Threonine and the corresponding phosphate ester O-Phospho-L-Threonine für die internationale Konferenz: 15th Radiochemical Conference, 23-28 April 2006 in Mariánské Lázně, Czech Republic und Erstellung eines Publikationsmanuskripts
- Erste Arbeiten zur Komplexierung der isolierten Bioligandfraktion 1 von P. fluorescence mit Cm(III) (Arbeitsaufenthalt von Anna Johnsson aus Göteborg im FZR)
- Fortsetzung der Komplexierungsuntersuchungen von U(VI) mit den Modellsystemen (SHA, DFB und 6HQ):
  - UV/Vis Messungen bei höheren pH-Werten, Optimierung der experimentellen Parameter
  - Bestimmung von Stabilitätskonstanten aus den UV/Vis-Messungen
- Beginn der Arbeiten zur Charakterisierung des Komplexbildungsverhaltens von Cm(III) mit den Modellsystemen

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9995</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5  |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.06.2005 bis 31.05.2009   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>168.600,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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: Probennahme zur Kolloidbestimmung an fünf ausgewählten Bohrungen zusammen mit FZK-INE. Gleichzeitige Grundwasserprobennahme zur Bestimmung von Haupt- und Nebenbestandteilen der Wässer.
- AS2: Vergleich von ersten Ergebnissen der neu ermittelten Oberflächenspektroskopie-Daten mit mineralogischen und geochemischen Daten.
- AS3: Zusammenstellung der hydrogeologischen, geochemischen und radiometrischen Daten zum Standort Ruprechtov. Auswertung insbesondere von  $^{13}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}$ -Isotopendaten in Sediment- und Wasserbestandteilen zur Untersuchung des Verhaltens organischer Materie. Identifizierung noch zu bestimmender Isotopendaten.  
Vorstellung der Ergebnisse in Vorträgen und Posterbeiträgen auf dem ersten jährlichen FUNMIG-Workshop.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AS1: Eh- und pH-Wert-Bestimmung mittels In-situ-Sonde in den Grundwässern der für Kolloidmessungen verwendeten Bohrungen. Überprüfung der Plausibilität der von GRS und INE gewonnenen Messwerte zur Absicherung der von INE neu entwickelten Messmethode.  
Anfertigung eines Fortschrittsberichts zur Messung von Kolloiden und wichtigen geochemischer Parameter in natürlichen Grundwässern.
- AS2: Vorbereitung und Verteilung vorhandener Sedimentproben für weiter oberflächenspektroskopische und nasschemische Untersuchungen der immobilen Uranphasen.  
Auswertung der neuen Ergebnisse aus Sorptions-/Desorptionsmessungen der CTU (Prag) und U(IV)/U(VI)-Messungen der Universität Helsinki an Sedimentproben verschiedener Bohrungen vom Standort Ruprechtov.  
Erstellung eines Fortschrittsberichts über die Anwendung innovativer Methoden zur Analyse immobilier Phasen von Uran und anderen Elementen.
- AS3: Planung und Durchführung der Isotopenmessungen von  $^{34}\text{S}$  in gelöstem Sulfat und  $^{14}\text{C}$  in DOC in ausgewählten Grundwässern.  
Dokumentation der Arbeiten zur Zusammenstellung und Auswertung aller aktuellen Daten zur Charakterisierung der hydrogeologischen Bedingungen am Standort. Aussagen zur Umsetzung organischer Materie und Bildung von Kolloiden in den tertiären Sedimentschichten.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Forschungsge-<br>lände, 85748 Garching  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 10005</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Auswertung von Modellierungsansätzen zum Gastransport in Tongesteinen (GASTON)   |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung<br>von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2005 bis 30.06.2006  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>170.000,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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, Gasdruck, physikalische Modellvorstellungen

**AP3**-Numerische Modellierung der Transportvorgänge:

Numerische Umsetzungen, Liste der existierenden kommerziellen und nicht kommerziellen Software, Kriterienkatalog nach Anwendungsbereich, Grad der Qualifizierung Rechnerische Anwendungen mit generische Daten, vergleichende Bewertung, Vorteil- Nachteile, Defiziten, Verbesserungsvorschläge

**AP4**-Vergleich des Wissenstandes:

Gegenüberstellung Ton/Tongestein - anderer Wirtsgesteine, Zusammenfassung des Wissenstandes zur Modellierung des Fluid- und Gastransports in anderen Wirtsgesteinen. vergleichende Bewertung

**AP5**-Dokumentation

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

Die geplanten Arbeiten der AP1 und AP2 wurden durchgeführt und zum größten Teil abgeschlossen. Die relevanten Literaturquellen für die Charakterisierung der Tonformationen zur Endlagerung sowie Bentonit als meist verwendetes Versatzmaterial wurden detailliert untersucht. Unter petro-physikalischen Eigenschaften wurden Porosität, Permeabilität, Effekte des Wassergehalts auf die petrophysikalische Eigenschaften, Kluft-/ Rissnetz, Kapillardruckeffekte und der kapillare Sperrdruck als Funktion der Permeabilität betrachtet. Die mechanischen Eigenschaften wurden als Spannungs-Dehnungsverhalten, Spannungsverlauf, Kriechen, Self-Healing und Self-Sealing untersucht. Für die Quantifizierung der Gasbildung wurden mögliche Szenarien aus der Literatur identifiziert und zeitabhängige Quellterme zugeordnet.

Unter hydro-mechanischen Eigenschaften der Tonformationen wurden Dilatanz, mechanisches Verhalten an und nach der Dilatanzgrenze, Effekte des Gasdrucks und Wärmeeffekte untersucht. Die Entstehung eines deviatorischen Druckes mit Hohlraumbildung, die Konvergenz, Versatzkompaktion, Dilatanz-Spannung-Beziehung, Zeiteffekte auf den Spannungszustand, Effekt des Porendrucks auf die Auflockerung wurden hierfür als wichtige Einflussfaktoren betrachtet und bewertet.

Die existierenden Modelle, die eine Beschreibung der hydro-mechanischen Eigenschaften und des daraus resultierenden Fluidtransports ermöglichen, wurden zusammengestellt. Derzeit wird untersucht, inwieweit die ausgewerteten physikalischen Modelle qualifiziert sind.

Die für die Anwendung der physikalischen Modelle entwickelten numerischen Umsetzungen in Form von Codes wie TOUGH2, TOUGHREACT, HYTEC, ASTER, BRIGHT werden untersucht und deren Eigenschaften in Form eines Katalogs zusammengestellt. Die bereits im ISTec zur Verfügung stehende Codes (TOUGH2, TOUGHREACT) wurden zielorientiert aktiviert, und die Codes, die als Testversion zu finden sind (ASTER, BRIGHT), wurden heruntergeladen und in Betrieb genommen. Mit den Entwicklern der Fremd-Codes wurden wissenschaftliche Kontakte aufgenommen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die AP3, AP4 und AP5 werden weiter bearbeitet. Die Zusammenstellungen und Bewertung der existierenden numerischen Modellierungsansätze werden weiter geführt. Die zur Verfügung stehenden Codes werden getestet, die Bewertungsergebnisse werden zusammengefasst. Wesentliche Charakteristika werden anhand eines Kriterienkatalogs erfasst. Der Stand der Qualifizierung und die vergleichende Bewertung werden für die ausgewählten Codes fortgeführt. Auch hier werden eventuelle zukünftig sinnvolle Verbesserungen erfasst und dokumentiert.

Die aufgenommenen Kontakte werden zur Einbeziehung internationaler Erfahrungen genutzt. Die erarbeiteten Informationen werden gezielt zur Entscheidungsfindung über ergänzende FuE-Arbeiten und zur Aktivierung von Synergismen mit anderen Fachgebieten ausgewertet.

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

Berichtsentwurf in Vorbereitung.

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 10015</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein   |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2005 bis 31.07.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.08.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>500.312,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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**

- Ein im Rahmen des „Integrated Project NF-PRO“ des 6. EU-Rahmenprogramms begonnener Versuch wurde über einen Zeitraum von weiteren zwei Monaten fortgeführt. Eine deutliche Abnahme der Permeabilität wurde nur durch Erhöhung des Überlagerungsdruckes erreicht.
- Der erste Zentralversuch zur Untersuchung des Gastransportes durch die Flüssigkeitsgesättigte Probe wurde mit einer noch aus dem EU-Projekt vorhandenen Probe gestartet. Die Bestimmung der Gaspermeabilität über einen Zeitraum von 500 h ergab bei einem Überlagerungsdruck von 1,5 MPa einen Wert von ca.  $10^{-13}$  m<sup>2</sup>, der sich während der Versuchszeit nur geringfügig verringerte. Zur Zeit wird die Probe mit Formationswasser aus Mont Terri aufgesättigt.
- Beschaffung von Tonproben aus Mont Terri. Aus dem Untertagelabor Mont Terri wurde Probenmaterial aus dem Bereich der Auflockerungszone beschafft. Die Proben wurden sowohl parallel als auch senkrecht zur Schichtung erbohrt.
- Drei weitere Autoklaven werden zur Zeit der geänderten Probengeometrie angepasst.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Fortsetzung des laufenden Versuches.
- Aufbau von drei neuen Messstrecken mit den modifizierten Autoklaven und Beginn der Untersuchungen an den neu aus Mont Terri beschafften Proben
- Aufbau einer Messstrecke zur instationären Permeabilitätsmessung
- Überprüfung, Test und Kalibrierung des Gaschromatographen zur Diffusionsmessung

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

Keine

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 10025</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung   |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2005 bis 31.07.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.08.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>463.334,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Michel             |  |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Tone als Material für geotechnische Barrieren weisen eine hohe Sorptionskapazität für kationische Schadstoffe auf. Ihre Fähigkeit, Anionen zu sorbieren ist sehr gering, kann aber wesentlich verbessert werden, wenn die anorganischen Zwischenschichtkationen gegen organische Kationen ausgetauscht werden.

Übergreifendes Ziel dieses Vorhabens ist es, die Funktion und Langzeitstabilität dieser Organotone nachzuweisen. Dazu sollen nach Einwirken simulierter Endlagerbedingungen (erhöhte Temperatur, ionisierende Strahlung, Einfluss von Mikroorganismen, Konkurrenz durch DOM) Untersuchung von Sorptionsfähigkeit und Mikrostruktur der Organotone, sowie zur Verbesserung des Verständnisses der Tonstrukturveränderungen bei Sorptionsprozessen und bei Einwirkung der Nahfeldbedingungen Monte-Carlo Simulationen durchgeführt 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 Zwischenschichtraum auf die Sorptionseigenschaften
- AP 7: Monte-Carlo Simulationen der Zwischenschichtstruktur der Organotone und der Sorptionsprozesse

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1: MX-80 Bentonit wurde in 10 Stufen mit dem 0,2- bis 2,0-fachen seiner Kationenaustauschkapazität (KAK) mit HDPy (Hexadecylpyridinium), BE (Benzethonium) bzw. TPP (Triphenylphosphonium) belegt. Da im vorangegangenen Projekt Probleme aufgetaucht waren, die aller Wahrscheinlichkeit nach auf die Bildung von Mizellen bei den Organokationen zurückzuführen sind, wurden für HDPy und BE (TPP bildet keine Mizellen) durch Titration mit ladungskompensierenden Polyelektrolyten die kritischen Mizellbildungskonzentrationen bestimmt. Zur näheren Kennzeichnung der Tone wurden der C-Gehalt und der Basisnetzebenenabstand, für ausgewählte Proben auch die Oberflächenladung bestimmt und geeignete Behandlungen für die Herstellung von Organotonen identifiziert.

Für die Charakterisierung der Iodadsorption an TPP-Tonen wurde ein Kinetikversuch (für HDPy und BE bereits früher erfolgt) durchgeführt, der ergab, dass das meiste Iod (98 % der insgesamt sorbierten Iodmenge bei einer Konzentration von 10<sup>-3</sup> mol/l) bereits innerhalb von 24 Stunden von dem Organoton aufgenommen wird, der Rest innerhalb der folgenden Tage. Nach dem 6. Tag ist kein Anstieg der Iodadsorption mehr zu verzeichnen.

AP 2: Das Material für die Behandlung mit  $\gamma$ -Strahlung bzw. hohen Temperaturen befindet sich zur Zeit in Bearbeitung/Exposition.

AP 4: Um die Bildung von Aggregationen organischer Kationen an den äußeren Oberflächen zu verfolgen, wurde eine Reflexionseinheit des FTIR-Spektrometers für die Untersuchung orientierter Tonpräparate umgebaut.

AP 5: Für die Untersuchung der Wechselwirkungen von gelöster organischer Substanz (DOM) mit den Organotonen wurden Proben natürlicher organischer Substanz (Schwarztorf, Humusaufgabe unter Fichten- und Buchenwald) beschafft, die für die Gewinnung verschiedenartiger (DOM) eingesetzt werden sollen.

AP 6: Für die Untersuchung des Einflusses der organischen Kationen auf die Mikrostruktur wurden Teilbelegungen zwischen 0 und 400 % der Kationenaustauschkapazität (KAK) hergestellt und die Oberflächenladung bestimmt. Während für HDPy- und BE-Bentonit eine Ladungsumkehr festzustellen ist, bleibt die Oberflächenladung bei TPP-Bentonit auch bei einem TPP-Angebot von 400 % der KAK im Bereich des Ladungsnullpunktes. Die Oberflächenladung hat einen deutlichen Effekt auf die Sedimenthöhe, wo im Bereich des Ladungsnullpunktes geringste Lagerungsdichten erhalten wurden. Eine Zunahme der Salzkonzentration verringert die Oberflächenladung und bedingt eine dichtere Packung der Teilchen. Es wurden verschiedene Trocknungsvarianten (Critical-Point-Trocknung, Gefriertrocknung, Lufttrocknung) geprüft, um die Mikrostruktur der Belegungsvarianten zu visualisieren.

AP 7: Als Referenzsystem wurde für diese Untersuchung ein zu ~110% KAK mit HDPy<sup>+</sup> modifizierter MX-80-Bentonit ausgewählt. Bei diesem Belegungsgrad und bei der Temperatur von 25°C weist der Bentonit eine pseudotrimolekulare Anordnung der organischen Zwischenschichtkationen und einen Schichtabstand von ca. 22 Å auf, die die Adsorption von Iodid in die Schichtzwischenräume ermöglichen. Vier Monte-Carlo-Simulationen des HDPy<sup>+</sup>-modifizierten MX-80-Bentonits bei den Temperaturen von 100°C, 120°C, 140°C und 160°C wurden daraufhin durchgeführt, um den Ton anhand der temperaturbedingten strukturellen Veränderungen zu untersuchen. Die berechneten Schichtabstände von entsprechend ~20.6 Å, ~20.6 Å, ~19.9 Å und ~19.8 Å lassen darauf schließen, dass eine thermische Behandlung des HDPy<sup>+</sup>-modifizierten MX-80-Bentonits bei Temperaturen von 140°C und höher als Folge eine Abnahme der Adsorption von Iodid in die Schichtzwischenräume haben kann. Temperaturbedingte Veränderungen der Zwischenschichtstruktur werden im Laufe der vollständigen Auswertung der Simulationsergebnisse ermittelt.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Batchversuche mit HDPy-, BE- und TPP-Bentonit mit I-125 als Tracer vor und nach der Behandlung mit hohen Temperaturen und  $\gamma$ -Strahlung
- Vorarbeiten zur Einwirkung von Mikroorganismen
- Einsatz des FTIR-Spektrometers in AP4 und AP6, insbesondere zur Untersuchung des Stofftransportes und der thermischen Stabilität.
- Herstellung von Präzipitaten organischer Kationen mit gelöster organischer Substanz und Kennzeichnung der Adsorptionseigenschaften für Anionen.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |
|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 10035</b>        |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden  |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2005 bis 30.06.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>389.880,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Einzelnvorgängen 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

Die Bildung von stabilen Huminkolloiden bzw. stabilen Humin-Pseudokolloiden von An(III) und An(IV) wird vergleichend untersucht. In Screeningexperimenten werden die Einflussparameter pH, Konzentration bzw. Konzentrationsverhältnis von Huminsäure, Actinid, in Ab- bzw. Anwesenheit von konkurrierenden Al-Ionen, sowie Konditionierungszeit der Mutterlösungen, variiert. Die dabei verwendete, gut charakterisierte und gereinigte  $^{14}\text{C}$ -markierte Huminsäure (HA) Gohy-573, zusammen mit  $^{241}\text{Am}$  bzw.  $^{234}\text{Th}$ , ermöglichen die gleichzeitige Beobachtung des Verhaltens der Huminsäure einerseits und der jeweiligen Actinide andererseits. Insbesondere wird die  $^{14}\text{C}$ - und An-Verteilung in den drei Phasen: gelöst, kolloidal, fest, für eine sehr große Zahl von Parameterwerten ermittelt.

Es zeigt sich, dass die Existenz von Huminkolloiden bzw. Humin-Pseudokolloiden von Actiniden, nur bei unvollständiger Beladung der Huminsäure, d.h. beim Vorhandensein von sich gegenseitig abstoßenden negativ geladenen Huminsäure-Teilchen, möglich ist. Sie zeigen weiter, dass die Beladung der Huminsäure auf einer Chelatbildung beruht, die ihrerseits eine ionische Metall(An)-Spezies voraussetzt. In umgekehrter

Schlussfolgerung ist es möglich, anhand der Detektion von Humin- bzw. Humin-Pseudokolloidbildung von An, festzustellen, welche Ladung die Metall(An)-Spezies trägt, m.a.W., welche Spezies unter einer gewissen Kombination von Einflussparametern, vorliegt. Der Vergleich von den gewonnenen Erkenntnissen, auch mit aus der Literatur bekannten Al(An)-Speziesverteilungen in Abhängigkeit des pH's, lässt folgende Schlussfolgerung zu: das Ausmaß der An-Huminkolloidbildung wird durch Faktoren, die die Ionisation der Actinide begünstigen, bestimmt. Genannt seien: niedriger pH, niedrige An-Konzentration bzw. hohes HA/An-Konzentrationsverhältnis und Oxidationsstufe in der Reihenfolge An(III) > An(IV).

Die Übertragbarkeit von Ergebnissen des Vorhabens 02E9763 auf reale Systeme, die neben anorganische auch organische Komponenten beinhalten, erfolgt im vorliegenden Vorhaben. Das gewählte Beispiel ist die Huminsäure, die teilweise selbst als Kolloide vorliegt und weiter bei der Bindung mit verschiedenen Metall(An)-Spezies, in Konkurrenz mit Silicysäure (Silanol), die HAS-Kolloidbildung beeinflussen kann. Parameterscreeningsversuche dienen der Ermittlung der HAS-Pseudokolloidbildung von An(III) bzw. An(IV) in Anwesenheit von HA. Die Ergebnisse der kompetitiven Wechselwirkung von An(III) bzw. An(IV) mit HAS- und HA-Kolloiden werden mit den Resultaten der summierten Wechselwirkungen von An(III) bzw. An(IV) mit den einzelnen Kolloidarten verglichen.

Der Vergleich der jeweiligen An(III)-Inkorporationsmuster zeigt, dass An(III) eine sehr große Affinität für HA-Kolloide besitzt. Er lässt aber auch Parameterbedingungen erkennen, die HA-HAS-Synergie-Effekte zur Pseudokolloidbildung erlauben. Solche Effekte sind eindeutige Hinweise darauf, dass An(III) sowohl mit HA- als auch mit HAS-Kolloiden binden und HA-HAS-Pseudokolloidhybride von An(III) entstehen. Die gleichzeitige Wechselwirkung von An(III) mit HA und HAS ist ebenfalls durch eine von uns eigens entwickelte TRLFS-Methode, die eine Cm-Anregung mit 2 verschiedenen Wellenlängen benutzt, bestätigt. Im Falle der kompetitiven Wechselwirkung von An(IV) mit Humin- und HAS-Kolloiden werden aus dem Vergleich der Inkorporationsmuster 4 charakteristische Gebiete von Parameter-Kombinationen erkennbar: ein erstes deutet auf die Komplexierung von An(IV) mit HA hin, ein zweites auf die Bindung mit HA und HAS (HA-HAS-Synergie-Effekt), ein drittes auf die Conukleation mit Si und Al (HAS) und ein viertes auf eine durch HA leicht inhibierte Inkorporation in HAS-Kolloiden (negativer HA-HAS-Synergie-Effekt) hin. Diese Arbeit verdeutlicht das unterschiedliche Verhalten von An(III) und An(IV) bei der Wahl zwischen Humin- und HAS-Kolloiden zur Pseudokolloidbildung. Während An(III) generell eine Bindung mit Huminkolloiden bevorzugt, und nur in Ausnahmefällen auch Neigung zeigt gleichzeitig mit HAS-Kolloiden eine Reaktion einzugehen, bevorzugt An(IV) eher HAS-Kolloide als Reaktionspartner. Diese unterschiedlichen kompetitiven Wechselwirkungen von An(III) bzw. An(IV) mit HA- und HAS-Kolloiden ist auf das unterschiedliche Hydrolysevermögen von An(III) und An(IV) zurückzuführen. Es gilt allgemein: ionisierte An-Spezies komplexieren mit HA, hydrolysierte An-Spezies binden mit HAS und ionisch-hydrolysierte An-Spezies bilden HA-HAS-Kolloidhybride.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Bildung von stabilen Huminkolloiden bzw. stabilen Humin-Pseudokolloiden von An(III), An(IV) wird weiter untersucht und auf An(V) und An(VI) ausgedehnt. Der Einfluss von den dem Wasser stets begleitenden Bestandteilen (Kationen von Ca, Mg, Al, Fe etc. sowie anionischen Liganden) werden miteinbezogen. Die kompetitive Wechselwirkung von An(III) und An(IV) mit Humin- und Hydroxyaluminosilicat (HAS)-Kolloiden wird weiter analysiert und analog für An(V) und An(VI) fortgesetzt.

Diese Versuche sollten nicht nur direkte Erkenntnisse liefern, sondern es auch ermöglichen, unsere verallgemeinerte Hypothese, dass es die Actinid-Spezies ist, die bestimmt welche Komponenten des Grundwassers gebunden werden können, zu prüfen. Dabei sind insbesondere solche organische und anorganische Komponenten, die zur Kolloidbildung führen, von Interesse.

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.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Siehe Förderkennzeichen 02E9763

|   |   |
|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 10045</b>        |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure  |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2005 bis 30.06.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>784.695,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 BMWA 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

Zum Thema Modellierung des MODEX-REP fand im Oktober 2005 ein Treffen bei der ANDRA statt, bei dem die Ergebnisse der Projektpartner, die seit Versuchsbeginn an der Modellierung teilnehmen, vorgestellt wurden. Diese sind sehr inhomogen, insbesondere in Hinblick auf die hydraulischen Ergebnisse. GRS beginnt erst jetzt mit eigenen Simulationsrechnungen.

TER-Modellierung: Zur Unterstützung der Planung bzw. Auslegung des In-situ-Aufheizversuches im URL Bure wurden gekoppelte THM Modellrechnungen mit CODE-BRIGHT durchgeführt. In einer 2D-Modellierung wurden mechanische und hydraulische Prozesse im Testfeld, die durch Auffahrung bzw. Ventilation der Versuchstrecke induziert werden, simuliert. Die Reaktionen des Tonsteines auf die Aufheizung bis zu 100°C und die nachfolgende Abkühlung auf 23°C wurden in einem 2D-axissymmetrischen Modell prognostiziert. Die Ergebnisse zeigen, dass sich der Porenwasserdruck im Nahbereich des Heizelementes während der Aufheizung um 5 MPa erhöht und bei der Abkühlung vollständig abgebaut wird. Die thermische Beanspruchung bewirkt auch eine entsprechende Verformung (Expansion und Kompaktion). Die Simulationsergebnisse wurden ANDRA bereits auf dem ersten Projektmeeting im Oktober 2005 übergeben.

Laboruntersuchungen: Zusammen mit ANDRA wurde ein gemeinsames Laborprogramm entwickelt. Insgesamt sind über 40 Versuche zur Bestimmung des langzeitigen Kriechverhaltens in Abhängigkeit von Spannung und Temperatur, zur Charakterisierung der Permeabilität in der Auflockerungszone, zur Untersuchung der ALZ-Verheilung, zur Ermittlung des Zusammenhanges zwischen Permeabilität und Spannung (bzw. Schädigung), zur Bestimmung der Quellung bzw. der Schrumpfung bei unterschiedlichen Feuchtigkeiten vorgesehen. Die Tonkerne, die an verschiedenen Lokationen im URL Bure erbohrt und entnommen wurden, sind bereits an das GRS-Labor ausgeliefert worden. Die meisten Versuche werden Anfang 2006 gestartet. Zusätzlich werden die Entwicklung und Verheilung der Auflockerungszone im Tonstein sowohl an normalen Proben als auch an großen Tonkernen ( $D/d/L=280/700\text{mm}$ ) unter in situ relevanten Bedingungen untersucht.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Simulation des hydraulisch-mechanischen Verhaltens des REP-Experiments mit verschiedenen vereinfachten Modellen unter Benutzung des Programms CODE\_BRIGHT
- Beginn der Durchführung der einaxialen und triaxialen Kriechversuche, der Quellversuche, der Permeabilitätsmessungen an Proben aus der ALZ und an geschädigten Proben
- Entnahme weiterer großer Tonkerne aus dem URL Bure
- Bestimmung von Materialparametern für Modellrechnungen
- Modellierungen der Experimente REP und TER

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 10055</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL                             |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2005 bis 31.03.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.10.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>253.530,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 am Projektgespräch am 26. Oktober 2005 in Peine.

AP 6: - Entwicklung eines detaillierten Bearbeitungsplans für das Arbeitspaket 6

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP 3: - Mitarbeit bei der Festlegung der FEPs 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: - Entwicklung eines Konzepts zur Bewertung der radiologischen Konsequenzen  
- Entwicklung eines Konzepts zur Bewertung der Kritikalitätssicherheit  
- Beginn der Modellentwicklungen

AP 6.2: - keine Arbeiten vorgesehen

Allgemein: - Teilnahme an Projektgesprächen

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

Keine

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 10065</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL                             |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2005 bis 31.03.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.10.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>456.962,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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**

Zu AP1:

Im Zusammenhang mit der Erarbeitung eines Referenzkonzeptes wurde mit der Zusammenstellung eines repräsentativen Abfallinventars begonnen, die durch konzeptionelle Überlegungen zum Endlagerbergwerk, den berücksichtigten Einlagerungstechniken sowie zum technischen Barrierensystem ergänzt wurden.

Zu AP2, 5, 7 und 8:

wurden die Arbeiten planmäßig noch nicht aufgenommen.

Zu AP9:

Einen wesentlichen Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum bildete die Erarbeitung und Abstimmung mit allen Projektbeteiligten der Qualitätssicherungs- und Dokumentationsrichtlinie sowie der Bearbeitungskonzepte für die einzelnen Arbeitspakete.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

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

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

Keine

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 10075</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lösungen bei Temperaturen bis 90°C – Kurztitel: FeT90   |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2005 bis 30.09.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.10.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>620.157,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 benötigten Komponenten für die Messapparatur wurden bestellt und zusammengebaut.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

*Dampfdruckmessungen:*

Nach einer Erprobungsphase soll mit den Messungen begonnen werden.

*Literaturstudie:*

Bis zum Ende des ersten Quartals wird die Literaturstudie durchgeführt. Mit einer Auswertung der Artikel ist bis Ende des Halbjahres zu rechnen.

*Korrosionsversuche:*

Diese Versuche werden im ersten Quartal angesetzt.

Löslichkeitsversuche: Mit dem Beginn dieser Versuche wird zunächst gewartet, bis sich aus den Ergebnissen der Literaturstudie ein Bild zum aktuellen Kenntnisstand ergeben hat.

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

Keine



## **2.2 C-Vorhaben**

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38678 Clausthal-Zellerfeld   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 0720</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2000 bis 31.03.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>699.653,99 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

- Durchführung von Laborversuchen über einen Zeitraum von  $t=196d$  und Auswertung der Parameter
- Ableitung eines Parametersatzes für das Stoffmodell Hou/Lux für die Lokation Sondershausen

- Durchführung von PoroPerm-Versuchen zur Bestimmung relevanter Parameter für die verwendete PoroPerm-Beziehung
- Exemplarische Anwendung des phs-Stoffmodells auf das Dammbauwerk Sondershausen und damit verbunden die Implementierung eines PoroPerm-Stoffmodells für Salzgrus (GRS)

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.

Eine erste Validierung des Stoffmodellansatzes zur Verheilung erfolgte durch die Nachrechnung eines in situ Bauwerkes in der Schachanlage Asse. Zur Übertragung des um den Verheilungsansatz erweiterten Stoffmodells Hou/Lux auf reale Untertagebauwerke sind im wesentlichen zwei Berechnungsmodelle vorgesehen.

- Quantifizierung der Verheilungsdauer in der Auflockerungszone um ein Dammbauwerk.
- Verheilung der Auflockerungszone einer mit einem Tübbing ausgebauten Strecke.

In dem abgelaufenen Berichtszeitraum wurden Berechnungen am Dammbauwerk Sondershausen durchgeführt. Unter Verwendung eines PoroPerm-Ansatzes für Salzgestein und eines Ansatzes für Salzgrus konnte mit den durchgeführten Berechnungen unter Berücksichtigung der Verheilung durch Konvergenz des Gebirges auf den Damm einerseits, wie auf den Versatz andererseits der Rückgang der Permeabilität in den geschädigten Zonen sowie im Versatz gut simuliert werden. Am Beispiel des Dammbauwerks Sondershausen konnte gezeigt werden, dass der implementierte phs-Stoffmodellansatz für die Verheilung im Salzgestein grundsätzlich auftretende Phänomene wie Riss-schließung und Verheilung beschreiben kann und in der Größenordnung plausible Ergebnisse liefert.

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.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung und Auswertung von PoroPerm-Versuchen zur Bestimmung relevanter Parameter für die verwendete PoroPerm-Beziehung
- Forschungsbericht

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 0912</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien   |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.05.2002 bis 31.12.2005   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>842.548,88 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Meyer                    |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es werden Grundlagen für eine verbesserte Modellierung des geochemischen Milieus unter Berücksichtigung von silikat- und aluminosilikathaltigen Materialien in salinaren wie nichtsalinaren Endlagerformationen geschaffen.

Auf experimenteller Basis wird durch Datenauswertung ein thermodynamischer Parametersatz entwickelt, mit dem sich die Eigenschaften von Al- und Si-Spezies in salinaren Lösungen bis 25 °C in einem breiten pH-Bereich voraussagen lassen. Hierzu werden Lösungssysteme und

-eigenschaften identifiziert, mit denen die gesuchten thermodynamischen Parameter (Löslichkeitskonstanten, Assoziationskonstanten, spezifische Wechselwirkungskoeffizienten) durch experimentelle Untersuchungen ermittelt werden können.

Die Leistungsfähigkeit des neuen thermodynamischen Parametersatzes wird durch geochemische Modellierung der Auflösungsreaktion von ausgewählten Silikat- und Aluminosilikatphasen überprüft, wofür erprobte Methoden und Rechenprogramme zum Einsatz kommen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in die folgenden Arbeitspakete:

- AP 1: Literaturrecherche zur Löslichkeit von Al-Oxiden, Al-Hydroxiden, Si-Oxiden und einfachen Alkali- und Erdalkalisilikaten in Lösungen der ozeanischen Salze.
- AP 2: Löslichkeitsmessungen und potentiometrische Titrations zur Bestimmung der physikalisch-chemischen Eigenschaften einfacher Si/Al-haltiger Lösungen in ausgewählten pH-Bereichen.
- AP 3: Bestimmung der Löslichkeit einfacher Silikate, Aluminate und Aluminosilikate in verschiedenen Salzlösungen, da derartige Verbindungen in der Natur die Sättigungskonzentration von Si und Al in Lösungen kontrollieren.
- AP 4: Berechnung, Prüfung und Dokumentation der Pitzerkoeffizienten für Si- und Al-Spezies, aus den neuen, experimentell ermittelten Daten sowie aus Literaturdaten.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### Löslichkeiten

- Die Löslichkeit von Kieselsäure wurde in verschiedenen wässrigen Lösungen der ozeanischen Salze mit komplexer Zusammensetzung, wie z.B. IP9- und IP21-Lösungen, bestimmt, um den entwickelten Parametersatz zu überprüfen. Dabei ergab sich eine gute Übereinstimmung der Messwerte mit den auf Basis der neu ermittelten Pitzerkoeffizienten berechneten Werten.
- Bei der gemeinsamen Auswertung aller Messdaten für die Löslichkeit von Kieselsäure in neutralen wässrigen Salzlösungen wurde festgestellt, dass (ähnlich wie bei Borsäure) eine erheblich bessere Anpassung an die Mess- und Literaturdaten erzielt werden kann, wenn die ternären Wechselwirkungen des Neutralteilchens  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  mit den An- und Kationen (Parameter  $\xi$ ) berücksichtigt werden. Z. Z. werden diese Wechselwirkungsparameter bei den geochemischen Rechenprogrammen (z.B. EQ3/6) nicht verwendet.

#### Potentiometrische Titration

- Für potentiometrischen Titrations zur Ermittlung des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von  $\text{H}_4\text{SiO}_4 / \text{H}_3\text{SiO}_4^-$  in Abhängigkeit von der Salzfracht wurden durchgeführt, es zeigten sich jedoch Schwierigkeiten bei der Reproduzierbarkeit der Messwerte. Eine Auswertung bezüglich der Pitzerkoeffizienten erfolgt z. Z.

#### Isopiestic Messungen

- Es sollten isopiestic Messungen zur Bestimmung der Pitzerkoeffizienten für Al in basischen und sauren wässrigen Salzlösungen durchgeführt werden, insbesondere die Systeme mit den zweiwertigen Ionen der Salze des hexären Systems ozeanischer Salze (Mg, Ca, Sulfat), bei denen Lücken in den Literaturdaten festgestellt wurden.
- Die isopiestic Messungen zur Bestimmung der Pitzerkoeffizienten für Al in basischen und sauren wässrigen Salzlösungen zeigten, dass es zu einer Korrosion der Tantal-Tiegel gekommen ist, die porös und brüchig geworden sind. Eine Auswertung der isopiestic Messungen für diese Systeme war daher nicht möglich (s. Punkt 9).

#### Löslichkeitsversuche an Mineralphasen

- Die wiederholt angesetzten Löslichkeitsversuche mit Wollastonit, Forsterit sowie Ettringit und Friedelschem Salz werden noch ca. 5 Monate laufen und in den Bericht mit einfließen.
- Es erfolgt ein Vergleich der ermittelten und berechneten Lösungszusammensetzungen mit dem neu entwickelten Pitzerparametersatz.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fertigstellung des Abschlussberichtes.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Kaiserstr. 12,<br>76128 Karlsruhe  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 0922</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.05.2002 bis 30.06.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.091.844,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Äquipotenzialsegment (ÄS) und Messtechnik

Im Berichtszeitraum wurde die mineralogische Charakterisierung von Materialien, deren Eignung für den Einsatz in den Äquipotenzialsegmenten (ÄS) getestet wird, fortgesetzt. Nach Abschluss eines Turmversuches unter Salzwasserbeaufschlagung wurde das erste Dichtsegment (DS) aus Calcigel sowie das erste ÄS aus ArtMix M33 für die Mineralogische Charakterisierung beprobt. Der **Wassergehalt** nimmt im Turm von unten nach oben sowohl im DS als auch im ÄS ab. Der **Carbonatgehalt** variiert sowohl im DS als auch im ÄS um bis zu 0,6%, wobei kein Trend mit der Höhe erkennbar ist.

Die Wasserdampfadsorptionsisothermen für die neuen Materialien M33, Muschelkalk Heilbronn und M34 sowie die Wiederholungsbestimmungen für die Komponenten der Mischungen werden Anfang 04/2006 vorliegen. Des weiteren laufen die Wasseraufnahmeversuche mit unkonditionierten und konditionierten (durch Befeuchtung/Trocknung) Materialien für die ÄS. Um die Salzverteilung im Turmversuch über DS und ÄS zu bestimmen, wird an ausgewählten Proben getestet, ob sich NaCl röntgenografisch mittels Rietveldanalyse quantitativ nachweisen lässt oder ob über Austauschreaktionen mit Cu-Triethyltetramin und anschließender AAS Analyse eine Bilanz der Kationen sich erstellen lässt. Zur Bestimmung der Kontaktwinkel an verschiedenen ÄS-Materialien konnte der Kontakt zur Bodenphysik an der Uni Hannover hergestellt werden. Es ist geplant, die Messungen Anfang nächsten Jahres durchzuführen.

Die Steighöhen des neuen M33 sind deutlich verhaltener als beim M21. Während der M21 bereits nach 86 Tagen die 3 m erreicht hatte, steht der M33 nach 200 Tagen bei 285 cm. Im Gegensatz dazu

wurden beim Salzwasser umgekehrte Eigenschaften festgestellt: M21 zeigte bereits nach 100 Tagen kaum noch Steigungen (160 cm). M33 hingegen steht nach 200 Tagen bei 260 cm.

Der Turmversuch wurde nach 2 monatiger Ruhephase abgebaut und das hinterste ÄS (M33) sowie das DS beprobt. Die Feuchteverteilung nach Ofentrocknung zeigt, dass sich das DS auch im Nachhinein aus dem Wasserangebot des ÄS bedient. Auch ein Anstieg der Feuchtefront im Dichtsegment nach Beendigung der Wasserzufuhr wurde festgestellt, ein gewünschter Effekt.

#### AP 4: Versuche im halbtechnischen Maßstab

Im ersten Halbtechnik-Versuch (Schachtversuch, senkrechte Anordnung des Druckbehälters) war der Einbau mit Schichtungen von Bentonit und Feinsand in ansteigender Dichte so konzipiert, dass die unteren Schichten beim Beaufschlagen mit Salzlösung durchbrechen sollten, um die Funktion der Äquipotenzialsegmente (ÄS) zu verifizieren. TDR-Sensorkabel zeichnen das Fortschreiten der Feuchtefront auf.

Entgegen den Erwartungen waren die unteren Schichten sehr stabil. Der Durchgang der Feuchtefront erfolgte deshalb langsam, mit der gewünschten Bevorzugung der Störungszone. An den senkrecht eingebauten Sensoren lässt sich die Position der Feuchtefront in der Höhe sehr gut verfolgen, gleichzeitig findet eine zunehmende Verdichtung der Dichtsegmente (DS) mit dem Fluiddruck statt.

Die Schichtung im Behälter ist an beiden Sensoren deutlich zu erkennen. Bis zum 06.11.05 steigt die Befeuchtung an Sensor bis etwa an die Grenzschicht zwischen dem oberen ÄS und dem oberen DS an. Hier ist an dieser Grenzschicht ein Knick in der Messkurve, der anzeigt, dass das Dichtsegment dichtet und darunter der Wassergehalt ansteigt. Die waagrecht eingebauten Sensoren zeigen die horizontale Verteilung in den Horizonten. Bisher ist die Salzlösung bis in die zweite Sandschicht vorgedrungen und breitet sich dort horizontal aus.

Der Versuch wird solange fortgeführt, bis das oberste ÄS vollständig befeuchtet ist. Bis heute lagen 155 Tage lang 90 bar an. Insgesamt zeigt sich die volle Funktionalität des Aufbaus gewährleistet: in den ÄS breitet sich die Lösung, die über präferenzielle Fließwege (Störungszone) in den DS vordringt, über die Fläche aus und benetzt das DS von hinten her. Das ÄS bricht die voreilende Feuchtefront und verteilt die Feuchte horizontal. Damit kann das „durchgeschlagene“ DS von hinten her benetzt seinen Quelldruck aufbauen und sich so weitgehend homogen nachdichten. Das folgende DS wird breitflächig und gleichmäßig benetzt und kann seine volle Wirkung entfalten.

Die Sensorik beschreibt die beobachteten Effekte, insbesondere das Vorlaufen der Feuchtefront bei den Fehlstellen und den Ausgleich in den ÄS.

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

Der zweite Versuch im halbtechnischen Maßstab (Stereckenverschluss) wird im Frühjahr 2006 gestartet. Der Kabelübergänge in den Sensoren wird weiter verbessert und in Druckzylindern verifiziert. Die Steigversuche werden mit Salzlösung weitergeführt, ebenso die Versuche mit den geschichteten ÄS (Turmversuch). Dazu werden die Salzverlagerungen im Dicht- und Äquipotenzialsegment quantifiziert. Die Mineralogie der „qualifizierten“ Artmixe wird weiter bestimmt (Materialdesign).

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

Der Projektstand wurde am 13. Oktober 2005 beim Projektgespräch in Teutschenthal vorgestellt. Auf der Homepage ([www.untertageverschluss.de](http://www.untertageverschluss.de)) ist ein ausführlicherer Sachstandsbericht anlässlich der verschobenen Sitzung vom 24. November 2005 dazu eingestellt.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 0932</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)                                |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2003 bis 31.03.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>365.274,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Ultraspurenanalytik 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 Adsorption von  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  an Sand und Kaolinit
- pH-abhängige Adsorption von  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  bei An- und Abwesenheit von HA an Kaolinit
- Stabilitätsuntersuchung von  $^{14}\text{C}$ -markierter HA gegenüber  $\text{Fe}^{2+}$  unter reduzierenden Bedingungen
- $^{14}\text{C}$ -Radiomarkierung und Bereitstellung von Gorleben-HA [ $^{14}\text{C}$ ]GoHy-573 (TUM)

Das Adsorptionsverhalten von  $\text{Zn}^{2+}$  an Kaolinit wurde bei einer Konzentration von 100 nmol/l  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  und 4 g/l Kaolinit im pH-Bereich von 3,5 - 7,5 bei Ab- und Anwesenheit von HA (30 mg/l) im Batchverfahren untersucht. Im pH-Bereich 4,5 - 6,5 ist die Zn-Adsorption bei Anwesenheit von HA stark erhöht, was auf eine Vermittlung der HA auf die Zn-Adsorption schließen lässt. Bei  $\text{pH} > 6,5$  ist im HA-System die Zn-Adsorption im Vergleich zum HA-freien System unterdrückt, bedingt durch die zunehmende Löslichkeit des Zn-Humatkomplexes. Die pH-abhängige Adsorption von  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  an Sand und Kaolinit wurde bei 100 nmol/l Zn vermessen. Der pH-Wert wurde zwischen 3 und 10 variiert. Unterhalb von pH 4,5 ist die Adsorption vernachlässigbar, oberhalb von pH 7,5 quantitativ. Die pH-Werte, bei denen 50 % Zn adsorbiert sind, betragen 6,23 (Sand) und 6,60 (Kaolinit). Nach der  $^{14}\text{C}$ -Radiomarkierung von HA via Azokupplung wurde diese mit  $\text{Fe}^{2+}$  unter Inertgasbedingungen kontaktiert, da nach den Experimenten im INE mit  $^{14}\text{C}$ -markierter HA eine reduktive Spaltung der -N=N- Bindung durch  $\text{Fe}^{2+}$  vermutet wird. Hierzu wurden drei Lösungen (nur  $\text{Fe}^{2+}$ , nur [ $^{14}\text{C}$ ]HA und eine Mischung von  $\sim 80$  mg/l [ $^{14}\text{C}$ ]HA mit 10 bzw. 100  $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ ) zeitlich beobachtet. Die HA wurde gefällt und der Überstand mit LSC vermessen.  $\text{Fe}^{2+}$  wurde in Form des Bipyridinkomplexes bei 522 nm spektroskopiert. Bis zu einer Reaktionszeit von 40 d konnte keine signifikante Konzentrationsänderung ( $^{14}\text{C}$  und  $\text{Fe}^{2+}$ ) festgestellt werden. Nach  $^{14}\text{C}$ -Markierung von GoHy-573-HA wurde der TUM [ $^{14}\text{C}$ ]GoHy-573-HA erneut zur Verfügung gestellt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Bestimmung von  $\log \beta$ -Werten für Fulvinsäure und divalentem  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zink}$
- Adsorptionsstudien im ternären System  $[^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}/\text{HA}/\text{Kaolinit}$  unter Variierung von Zn- und HA-Konzentrationen unter naturnahen Bedingungen
- Durchbruchkurven von  $\text{Zn}^{2+}$  an Sandsäulen bei Ab- und Anwesenheit von Huminsäure
- Dokumentation / Abschlussbericht.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

H. Lippold, A. Mansel, H. Kupsch: „Influence of trivalent electrolytes on the humic colloid-borne transport of contaminant metals: competition and flocculation effects.” J. Contam. Hydrol. 76 (2005) 337-352.

A. Mansel, H. Kupsch: „Labelling of humic substances with  $^{14}\text{C}$  and their use for sorption studies with different geomatrices.” 22nd International Meeting on Organic Geochemistry, Sevilla, Spain, 12 - 16 September 2005.

A. Mansel, H. Kupsch: „Labelling of natural humic substances with  $^{14}\text{C}$  and their use in adsorption studies.“ MIGRATION 05, Avignon, France, 18 - 23 September 2005.

A. Mansel: „Anwendung von  $^{65}\text{Zn}$  zur Bestimmung von  $\log \beta(\text{HA})$  und für Adsorptionsuntersuchungen an Kaolinit unter naturnahen Bedingungen.“ 5. Workshop zum Verbundtreffen „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer.“, Leipzig, 04.-05.10.2005.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38678 Clausthal-Zellerfeld   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 0952</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2002 bis 30.06.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>741.130,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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:

- AP 1.1 Kapillar- und Gassperrdruckmessungen
- 1.2 Gaspermeationstests
- 1.3 Triaxuntersuchungen
- 1.4 Gasfrac-Untersuchungen
- AP 2.1 Gasinfiltationstests in der Grube Bernburg
- 2.2 Gasfrac-Versuche in der Grube Bernburg
- 2.3 Akustische Messungen
- AP 3.1 Modellierung der Permeationstests
- 3.2 Modellierung des gesteinsmechanischen und pneumatischen Zustandes
- AP 4. Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Weiterführung der Langzeittriaxial-Versuche (Dauer > 200 Stunden) an Probenmaterial aus Bernburg
- Umbau des Triaxialversuchsstandes im ITE für Versuche mit Öl bzw. Hexan als strömendem Medium und Durchführung erster Testmessungen mit Öl bzw. Hexan
- Konstruktion und Beginn der Fertigung einer Zelle für Gassperrdruckmessung von dilatant verformten Probenkörpern
- Weiterführung der Flutversuche an dilatant verformtem Steinsalzproben zur Charakterisierung des Rissystems mit Hilfe der Computertomographie und erste Versuche der Quantifizierung der Messergebnisse
- Erhöhung des Gasdruckes beim In-situ-Langzeitdrucktest in der Grube Bernburg in Stufen auf momentan 13 MPa.
- Fortführung der akustischen Emissionsmessungen in der Grube Bernburg

Bei den durchgeführten Flutversuchen an dilatant aufgelockerten Steinsalzproben ist in der Computertomographie zu erkennen, dass sich diskrete Rissysteme ausbilden. Durch den beim Fluten anliegenden Druckgradienten und die daraus vorgegebene Fließrichtung ist es möglich Rückschlüsse auf die Kommunikation der Risse untereinander zu ziehen. Aus den vorliegenden Ergebnissen ist zu erkennen, dass senkrecht zur Durchflutungsrichtung verlaufende Anhydritbänder einen signifikanten Einfluss auf die Risskommunikation haben. Des Weiteren ist bemerkenswert, dass nicht alle in einem Slice erkennbaren Risse zur Fluidleitung beitragen.

Die stufenweise durchgeführten Gasdrucksteigerungen beim Permeationstest in Bernburg haben bisher nur zu einem leichten Ansteigen der Abströmungsraten geführt. Der Druck der momentan anliegenden Druckstufe befindet sich in der Nähe der, aus vorherigen Messungen in unmittelbarer Umgebung des Versuchsortes ermittelten, minimalen Hauptspannung des Gebirges. Eine Fracbildung ist bisher nicht aufgetreten. In den akustischen Messungen sind keine signifikanten Änderungen zu erkennen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden programmgemäß weitergeführt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 0963</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands                                       |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheits Gesichtspunkten |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2003 bis 31.03.2006   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>102.703,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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 den Kalirevieren Mitteldeutschlands: Thüringen-Werra, Südharz, Saale-Unstrut, Nordharz und Raum Calvörde wurden ca. 6000 Lösungsanalysen erfasst. Diese wurden anhand der Übereinstimmung zwischen angegebenen Chemismus und gemessener sowie berechneter Dichte auf Plausibilität überprüft. Die Auswertung des Analysenmaterials im Sinne der Aufgabenstellung wurde nur mit plausibel erscheinenden Lösungszusammensetzungen weitergeführt. Es konnten klare Beziehungen zwischen Lösungsschemismus und geologisch-mineralogischen Randbedingungen ihres Auftretens herausgearbeitet werden. Aus der Betrachtung der Zuflüsse, ihrer mengenmäßigen und zeitlichen Entwicklung, der Entwicklung des Chemismus der Lösungen sowie der mineralogischen, stratigraphischen, tektonischen und hydrologischen Randbedingungen konnten allgemeingültige Zusammenhänge abgeleitet werden, die die Beurteilung des Gefährdungspotentials der Zuflüsse für den Salzbergbau ermöglichen:

- Der Chemismus der Salzlösungen weist im Allgemeinen große Schwankungen auf. Trotzdem können typische Lösungszusammensetzungen für unterschiedliche Kalireviere mit unterschiedlichen Kaligesteinen identifiziert werden.
- Die Ausbildung der Kaligesteine in den einzelnen Gruben kann sehr unterschiedlich sein. Teilweise sind Unterschiede auch innerhalb ein und derselben Lagstätte festzustellen.

- Das Auftreten bestimmter Kalisalztypen in bestimmten geographischen Regionen ist nicht zufällig. Die Ausbildung der Kalisalze ist von der regionalen Lage im Sedimentationsbecken abhängig. Am Beckenrand treten verstaubte Kalisalze auf (Merkers, Springen). Zum Beckeninneren werden diese abgelöst von sylvinitischem Hartsalz (ohne Kieserit) (Merkers, Springen), gefolgt von kieseritischem Hartsalz (Aschersleben) und Carnallitit (Hainthal, Schwarzburg). In noch tieferen Beckenbereichen kann Carnallitit mit Tachydril (Ludwig II, Berlepsch-Maybach) auftreten und im Beckentiefsten sind Vergesellschaftungen von Carnallitit mit Bischofit (Brefeld, Berlepsch-Maybach, Leopoldshall, Douglas Hall (Wester Egel)) zu beobachten.
- Der Chemismus der Lösungen widerspiegelt die mineralogische Zusammensetzung der Gesteine mit denen sie im Kontakt waren.
- Für Komplexe Lösungszusammensetzungen, wie sie z.B. in Rossleben auftreten, und die neben den üblichen Salzen NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub> und CaSO<sub>4</sub> auch CaCl<sub>2</sub> enthalten, wurde mittels geochemischer Modellrechnungen eine plausible Genese aufgezeigt. Es handelt sich mit großer Wahrscheinlichkeit um Metamorphoselösungen, die aus der Salzformation ausgetreten sind und im umgebenden Deckgebirge mit Karbonaten reagiert haben. Auf später tektonisch angelegten Wegsamkeiten konnten diese CaCl<sub>2</sub>-haltigen Lösungen wieder in die Salzformation eindringen und im Hauptanhydrit gespeichert werden. Mit dieser Vorstellung ihrer Genese lassen sich auch die Beobachtungen der Dichteschichtung im Lösungsspeicher zwanglos erklären.
- Es scheint einen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Lösungszutritte und dem Kalisalztyp zu geben. Generell ist festzustellen, dass die Anzahl der Zuflüsse im Beckentiefsten am niedrigsten ist und sich zum Beckenrand hin deutlich erhöht. Die meisten Zuflüsse wurden allerdings nicht in den verstaubten Bereichen der Kaliflöze, sondern in Mischsalzbereichen mit Carnallitit und kieseritischem Hartsalzen angetroffen.
- Innerhalb einer Grube, eines Kalireviers, ist häufig mit zunehmender Teufe eine Zunahme der Dichte zu beobachten. Diese geht einher mit steigenden MgCl<sub>2</sub>-Gehalten und soweit vorhanden auch CaCl<sub>2</sub>-Gehalten (z.B. Rossleben, Staßfurter Sattel).
- Der Zusammenhang zwischen Kalisalztyp und Anzahl von Lösungszuflüssen kann einen groben Anhaltspunkt dafür geben, wo die Gefahr von Lösungszutritten größer oder kleiner ist. Ein generelles, belastbares Gefährdungspotential kann jedoch daraus nicht abgeleitet werden.
  - Ein tatsächliches Gefährdungspotential kann dagegen aus einer weiteren Beobachtung abgeleitet werden: Alle Lösungszutritte (Feuchtstellen) sind nachweislich an tektonische Elemente geknüpft. Schnitte, Klüfte und Spalten bilden die Voraussetzung für Lösungsbewegungen.

#### **Fazit:**

- Salzlösungsvorkommen können nicht allein nach ihrem Chemismus beurteilt werden. Es gibt jedoch offensichtliche Zusammenhänge zwischen Lösungsschemismus, Geologie und Tektonik. Aus dem Kenntnis dieser Zusammenhänge können zuverlässige Kriterien für die Abschätzung des Gefährdungspotentials eines Standorts für Lösungszuflüsse abgeleitet werden.
- Die Anzahl der Zuflüsse und deren Schüttungsmenge ist von der regionalen Lage der Gruben abhängig. Die Zahl der Zuflüsse nimmt generell mit der Teufe ab. Eine tiefe Grube hat praktisch keine Zuflüsse, weil durch den Überlagerungsdruck eventuell vorhandene Klüfte geschlossen werden und keine Wegsamkeiten darstellen.

Die offensichtlichen, bisher aber noch wenig beachteten Zusammenhänge zwischen Lösungszuflüssen, Geologie, Mineralogie und klein- sowie großräumiger Tektonik können und sollten bei der Auswahl und Erkundung von Endlagerstandorten im Salz frühzeitig berücksichtigt werden.

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

Fertigstellung des Abschlussberichtes.

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

GRS-Bericht in Vorbereitung.

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln  |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 0973</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen   |  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.09.2003 bis 31.08.2006  |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>407.425,00 EUR   |  | <b>Projektleiter:</b><br>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 folgenden Versuche wurden durchgeführt, beendet, analysiert und die Ergebnisse graphisch dargestellt.

BATCH1 zum Vergleich mit ELISA1, Abfall CA 608+IP21-Lösung  
ELISA2 und BATCH2, Abfall CA528+IP21-Lösung,  
ELISA3 und BATCH3, Abfall CA539+IP21-Lösung  
ELISA4 und BATCH3, Abfall CA606+IP21-Lösung  
ELISA5 und BATCH3, Abfall CA608+IP21-Lösung.

Wiederholungsversuche zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wurden durchgeführt und mit gutem Ergebnis abgeschlossen. Die Auswertung der Ergebnisse ist noch im Gange. Es scheint sich herauszustellen, dass die ELISA-Versuche gegenüber den BATCH-Versuchen und Kaskadenversuchen keine Vorteile aufweisen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Abschluss der Auswertung. Durchführung von geochemischen Modellrechnungen mit EQ3/6. Festlegung und Durchführung von weiterführenden Einzelversuchen zur Absicherung der Ergebnisse. Beginn der Erstellung des Abschlussberichtes.

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

Keine

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 0983</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen   |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.09.2003 bis 31.08.2006  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>651.132,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Hagemann                 |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die experimentelle Datenbasis für Kupfer wurde mit der Durchführung von isopiestic Messungen in den Systemen  $\text{CaCl}_2\text{-CuCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  vervollständigt. Nunmehr liegen für alle relevanten Teilssysteme ausreichend Informationen vor.

Auch für Mangan(II) wurden weitere Messungen vorgenommen ( $\text{CaCl}_2\text{-MnCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ ), wodurch auch hier die experimentellen Arbeiten zum Abschluss gekommen sind.

Die Auswertung der Messungen in den Systemen  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{-M}_x\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$  hat gezeigt, dass in wässriger Lösungen bei  $25^\circ\text{C}$  zwei kinetisch stabile Chrom(III)sulfat-Isomere voneinander zu unterscheiden sind (grünes und violettes). Ihre thermodynamischen Eigenschaften unterscheiden sich beträchtlich, so dass sie auch getrennt zu untersuchen sind. Die Synthese der beiden Reinformen ist abgeschlossen. Ihre isopiestic Untersuchung wird aber angesichts der noch notwendigen Messungen von arsenat- und quecksilberchloridhaltigen Systemen zurückgestellt.

Mit der Titration von arsenithaltigen Lösungen wurde begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fortsetzung der Titration arsenithaltiger Lösungen.

Löslichkeitsversuche mit quecksilbersulfathaltigen und kupfer(I)chloridhaltigen Lösungen.

Isopiestic Versuche an arsenat- und quecksilberchloridhaltigen Lösungen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 0993</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und alumosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C bis 90° C                                   |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.09.2003 bis 31.08.2006  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>612.425,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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

AP 1 - Literaturrecherche

AP 2 - Physikalisch-chemische Eigenschaften Si/Al-haltiger Lösungen

AP 3 - Löslichkeit einfacher Silikate und Aluminate

AP 4 - 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. Z. untersuchten Systeme sind:

- NaCl-H<sub>2</sub>O-H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>
- KCl-H<sub>2</sub>O-H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>
- CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>
- K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O-H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>

Es erfolgten Voruntersuchungen zur Löslichkeit von Gibbsit im pH-Bereich >9 bei einer Temperatur von 65°C.

### 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 Lösungen der Salze des ozeanischen Systems bearbeitet werden.

Neben den Untersuchungen zu der Löslichkeit von Kieselsäure sollen die Löslichkeiten 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 betrachtet werden. Das Verhalten von Aluminium in neutralen Lösungen wird durch Kombination von Löslichkeitsmessungen und potentiometrischen Messungen untersucht.

AP3: An einigen ausgewählten Silikaten, Aluminaten und Alumosilikaten sollen Löslichkeitsmessungen in verschiedenen Salzlösungen bei unterschiedlichen Temperaturen (bis 90 °C) durchgeführt werden. Auf der Basis dieser Werte werden die Löslichkeitskonstanten dieser Verbindungen berechnet. Hier sollen voraussichtlich Ettringit und Friedelsches Salz sowie Forsterit und Wollastonit Verwendung finden.

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><br>Dr. Andreas Hampel, Kleiststraße 32, 30916 Isernhagen  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1004</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 1                           |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2004 bis 30.11.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>223.662,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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**

Das vorliegende Teilvorhaben 1 beteiligt sich mit dem Composite-Dilatanz-Modell (CDM) an dem Stoffgesetzvergleich. Es 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 zunächst die Benchmark-Rechnungen zu einem vertikalen Schnitt durch die Umgebung der horizontalen Maschinenstrecke EU1 der Grube Sondershausen durchgeführt (AP6a). Dabei stellte sich heraus, dass die berechnete Spannungsverteilung mit den Daten aus Untertagemessungen gut übereinstimmt, dass jedoch die berechneten Verformungen zunächst sehr gering waren. Durch Testrechnungen konnte die Ursache für diesen Befund auf die Modellierung des Kriechverhaltens von Steinsalz bei niedrigen Temperaturen und sehr kleinen Spannungen zurückgeführt werden. Mit einer diesbezüglich überarbeiteten CDM-Formulierung zeigen auch die errechneten Verformungen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Extensometermessungen.

In dem sich anschließenden AP6b wurde ein von allen Partnern gemeinsam entworfenes Kammer-Pfeiler-Modell erstellt, das eine typische Untertagesituation darstellt und in besonderem Maße die Modellierung der Auflockerung (Dilatanz) bis zum Bruch mit dem jeweiligen Stoffgesetz demonstriert. Diese Rechnungen dauern zur Zeit noch an.

Neben den Modellrechnungen hat sich der Autor an der Vorbereitung und Durchführung des Workshops am 21. und 22.09.2005 in Karlsruhe beteiligt. Auf ihm wurden unter anderem die ersten Ergebnisse der Untertagerechnungen vorgestellt und besprochen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im ersten Halbjahr 2006 werden die Modellrechnungen zu AP6b (Kammer-Pfeiler-Modell) abgeschlossen und die Ergebnisse auf dem nächsten, für Anfang Februar geplanten Workshop mit denen der Verbundpartner verglichen und diskutiert werden. Nach Vorliegen der Daten einzelner noch laufender Langzeitkriechversuche werden auch diese nachgerechnet und in den Vergleich einbezogen werden. Anschließend wird programmgemäß der Ergebnisbericht zum Teilprojekt (AP7) und – gemeinsam mit den anderen Projektpartnern – die vergleichende Zusammenfassung (AP8) erstellt werden.

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

Hampel, A. & Hunsche, U. (2002): Extrapolation of creep of rock salt with the composite model.- In: Basic and Applied Salt Mechanics, Proc. of the 5<sup>th</sup> 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><br>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1014</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 2                           |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2004 bis 30.11.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>115.855,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 und theoretischer Untertagesituationen verwendet. Die Tests zeigten zwar die algorithmisch korrekte Wiedergabe der stoffgesetzlichen Vorgaben, allerdings ergaben sich auch unerwartet große und hartnäckige Instabilitäten, die zu – für FEM – Berechnungen ungewöhnlich kurzen Zeitschritten bzw. sehr langen Rechenzeiten zwangen. Um Stabilität zu erreichen, wurde im zweiten Halbjahr 2005 zunächst eine Tangentialmatrix (Steifigkeitsmatrix des Gleichungssystems) unter Berücksichtigung der Spannungs- und Dehnungsabhängigkeit des Kriechprozesses sowie der Kriechverfestigung entwickelt, die bereits eine wesentliche Verbesserung brachte. Um auf gewohnte Zeitschritte zu kommen, war eine angepasste Neuentwicklung der Stoffgesetziteration notwendig, die derzeit umgesetzt wird. Eine Berechnung aller Modelle in akzeptabler Zeit wird danach möglich sein.

Weiterhin wurde die experimentelle Datengrundlage für das AP 2 durch mehrere Langzeitkriechversuche erweitert. Die Daten wurden allen Projektpartnern für ergänzende Arbeiten zu AP3 zur Verfügung gestellt. Ein Vergleich der ersten Ergebnisse zu AP 5 und AP 6 fand auf einem von der BGR am 21. und 22. September mitorganisierten Workshop aller Projektpartner statt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Bis zu dem Anfang Februar 2006 geplanten Workshop werden alle Modelle noch einmal durchgerechnet und die Ergebnisse dann mit denen der Projektpartner im Verbundvorhaben verglichen und diskutiert. Sollten neue experimentelle Daten zu Modifikationen bei den Parametern führen, wird dies im Weiteren Berücksichtigung finden. Anschließend wird der Ergebnisbericht zum Teilprojekt der BGR (AP 7) und die vergleichende Zusammenstellung aller Ergebnisse (AP 8) erstellt. Wenn diese Arbeiten abgeschlossen sind, wird eine Empfehlung zur Anwendung der hier untersuchten Stoffgesetze erarbeitet (AP 9). Im zweiten Halbjahr 2006 werden die Ergebnisse dieses Vorhabens in einem Abschlussbericht dokumentiert und veröffentlicht (AP 11). Der laufende Erfahrungsaustausch der Projektpartner wird durch weitere Workshops gewährleistet, wobei die Endergebnisse bei einem abschließenden Workshop (AP 10) diskutiert werden und das Potenzial der Stoffgesetze für die weiteren Arbeiten auf dem Gebiet der Entsorgung chemotoxischer Abfälle analysiert und identifiziert wird. Auf einer öffentlichen Abschlussveranstaltung im November 2006 werden die Ergebnisse des Verbundvorhabens vorgestellt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Hampel, A. & Hunsche, U. (2002): Extrapolation of creep of rock salt with the composite model.- In: Basic and Applied Salt Mechanics, Proc. of the 5<sup>th</sup> 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><br>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60,<br>04279 Leipzig  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1024</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 3                           |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2004 bis 30.11.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>143.110,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 (EDVA) an dem Stoffgesetzvergleich.

Nach dem Abschluss der Arbeiten zu AP2 und AP3 wurden in AP5 die Werte der Stoffgesetzparameter für Steinsalz aus dem Untertagebereich der Maschinenstrecke EU1 der Grube Sondershausen durch Anpassungen beider Ansätze an Laborversuchsdaten bestimmt. Mit diesen Parameterwerten wurden die Rechnungen mit FLAC zu AP6 (Modellrechnungen, Teil 2) durchgeführt. 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.

Weiterhin wurde eine erste C++-Version des EDVA mit Hilfe des UDM-Moduls (für *user defined models*) fertiggestellt, wodurch – wie Vergleichsrechnungen ergeben haben – eine erhebliche und im Hinblick auf AP6 notwendige Steigerung der Rechengeschwindigkeit im Vergleich mit der bisher verwendeten FISH-Version erreicht wird. Die bisher durchgeführten Tests haben allerdings noch einige Unkorrektheiten bezüglich der C++-Programmierung aufgezeigt.

Neben den genannten Arbeiten hat sich das IfG an der Vorbereitung des am 21.+22.09. in Karlsruhe durchgeführten Workshops beteiligt. Auf ihnen wurden die Ergebnisse der Parameterbestimmungen und Modellrechnungen vorgestellt und diskutiert. Außerdem wurden im Hinblick auf die Erstellung der Einzelberichte der Verbundpartner in AP7 einheitliche Ergebnisdarstellungen und Themen abschließend festgelegt, die die vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse in AP8 erleichtern werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Halbjahr 2006 werden die Modellrechnungen zu den Untertagestrukturen aus AP6 (Maschinenstrecke EU1 und Kammer-Pfeiler-Modell) abgeschlossen und die Ergebnisse auf dem nächsten, für Februar geplanten Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert. Außerdem wird der Einzelbericht zum vorliegenden Teilprojekt in AP7 erstellt, in dem beide vom IfG zu untersuchenden Stoffansätze, die Verfahren und die Ergebnisse der Parameterbestimmung sowie die Ergebnisse der Modellrechnungen dokumentiert werden.

Weiterhin ist geplant, die Programmierung und den Test einer C++-Version des EDVA mit Hilfe des UDM-Moduls (für *user defined models*) in Zusammenarbeit mit ITASCA abzuschließen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2a,<br>38678 Clausthal-Zellerfeld  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1034</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4                           |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2004 bis 30.11.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>60.178,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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 waren in den AP6a/b für den ausgewählten Steinsalztyp Sondershausen-Steinsalz die Werte der Stoffgesetzparameter des in diesem Teilprojekt verwendeten Stoffmodell *Hou/Lux* bestimmt worden. Die Nachrechnungen aller vier Kriechversuche in zwei Stufen mit diesen Parametern erfolgten analytisch. Alle Versuchsergebnisse außer an einem Prüfkörper konnten mit dem Stoffmodell *Hou/Lux* übereinstimmend wiedergegeben werden. Die Laborergebnisse der Festigkeitsversuche wurden ebenfalls analytisch mit einem eigen entwickelten Programm in grober Übereinstimmung mit experimentellen Befunden nachgerechnet.

Mit diesem Parametersatz wurden die Benchmark-Rechnungen zu einem vertikalen Schnitt durch die Umgebung der horizontalen Maschinenstrecke EU1 der Grube Sondershausen durchgeführt (AP6a). Dabei hat sich herausgestellt, dass nur ein Parameter des stationären Kriechens

$\bar{\eta}_m^*$  um einen Faktor 15,67 erhöht werden musste, um die gemessene Konvergenzrate von ca. 1 mm/a nachvollziehen zu können. Des Weiteren konnte eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Spannungen und Permeabilitäten festgestellt werden. Mit diesen angepassten Parameterwerten wurden die numerischen Berechnungen an einem von allen Partnern gemeinsam entworfenen Kammer-Pfeiler-Modell in AP6b durchgeführt, das eine typische Untertagesituation darstellt und in besonderem Maße die Modellierung der Auflockerung (Dilatanz) mit dem jeweiligen Stoffgesetz demonstriert.

Neben den genannten Arbeiten haben Mitarbeiter dieses Vorhabens (PD Hou und Dipl. Wolters) an einem in Karlsruhe am 21. und 22.09.2005 durchgeführten Workshop teilgenommen. Auf diesem Workshop wurden die Ergebnisse der oben genannten Modellrechnungen vorgestellt und diskutiert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Halbjahr 2006 werden Berechnungsergebnisse (Maschinenstrecke EU1 und Kammer-Pfeiler-Modell) anderer Verbundpartner auf dem nächsten für Februar 2006 geplanten Workshop vorgestellt und mit unseren Ergebnissen verglichen und diskutiert. Nach Vorliegen der Daten einzelner noch laufender Langzeitkriechversuche werden auch diese nachgerechnet und in den Vergleich miteinbezogen. Anschließend wird programmgemäß der Ergebnisbericht zum Teilprojekt (AP7) und – gemeinsam mit den anderen Projektpartnern – die vergleichende Zusammenfassung (AP8) erstellt werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Hou, Z. (2002): Geomechanische Planungskonzepte für untertägige Tragwerke mit besonderer Berücksichtigung von Gefügeschädigung, Verheilung und hydromechanischer Kopplung. Habilitationsschrift an der TU Clausthal.

Hou, Z. (2003): Mechanical and hydraulic behaviour of salt in the excavation disturbed zone around underground facilities. *Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 40/Issue 5, 2003, pp. 725-738.

Lux, K.-H.; Hou, Z. und Xie, Z. (2003): Ein Kopplungskonzept zur Beschreibung der hydromechanischen Wechselwirkungen in den aufgelockerten Konturzonen um ein Abdichtungsbauwerk im Salzgebirge. *Bauingenieur*, Band 78, (11).

Hou, Z. & Lux, K.-H. (2003): Numerical identification of the excavation damaged zone in rock salt. *Proceedings of 10th international congress on rock mechanics*, South Africa, 2003.

Hou, Z. und Lux, K.-H. (2004): A new coupling concept for hydro-mechanical interaction of clay stone and rock salt in underground waste repositories. *Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 41/Issue 3, 2004, pp. 495-495 (full paper with 6 pages in the CD on the inside back cover of this special issue).

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1044</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5                           |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2004 bis 30.11.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>58.278,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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.

Im Berichtszeitraum wurden zunächst weitere Berechnungen zur Maschinenstrecke EU1 der Grube Sondershausen durchgeführt (AP6a). Hierbei wurde eine Parameterangleichung vorgenommen, um die vorhandenen Versuchsdaten und Messungen in die Berechnungen einfließen zu lassen. Die Ergebnisse der auf dem Workshop in Clausthal (April 2005) festgelegten Auswertungen für die Strecke Sondershausen wurden am 21. und 22.09.2005 in Karlsruhe vorgestellt. Des Weiteren wurde das festgelegte Pfeiler-Kammer-Modell (AP6b) generiert und mit den ermittelten Parametern für die Strecke Sondershausen mit unterschiedlichen Teufen berechnet. Die erste Ergebnisse hierzu wurden ebenfalls auf dem Workshop in Karlsruhe vorgestellt. Es stellte sich dabei heraus, dass mit den ermittelten Parametern zu große Verformungen erzielt wurden, so dass eine weitere Modifizierung der Parameter notwendig war. Die Modellrechnungen für die Pfeiler-Kammer-Situation dauern nach der Modifikation der Stoffgesetzparameter noch an.

Weiterhin wurden im November und Dezember die 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.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im ersten Halbjahr 2006 werden die Nachrechnungen der Laborversuche (AP3) sowie die Modellrechnungen zu AP6b (Kammer-Pfeiler-Modell) abgeschlossen und die Ergebnisse auf dem nächsten, für Anfang Februar geplanten Workshop mit denen der Verbundpartner verglichen und diskutiert werden.

Nach Vorliegen der Daten einzelner noch laufender Langzeitkriechversuche werden auch diese nachgerechnet und in den Vergleich einbezogen werden. Anschließend wird programmgemäß der Ergebnisbericht zum Teilprojekt (AP7) und – gemeinsam mit den anderen Projektpartnern – die vergleichende Zusammenfassung (AP8) erstellt werden.

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

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

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1054</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 6                           |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2004 bis 30.11.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>31.980,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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

Die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten zu AP6 betrafen im wesentlichen die folgenden zwei Themen:

- Die Langzeitentwicklung der Auflockerungszone in der Umgebung der Maschinenstrecke auf der 700m-Sohle im Salzbergwerk Sondershausen wurde mit einem neuen 2D-Modell untersucht. Die Materialparameter wurden bereits in der ersten Hälfte des Jahres 2005 an Labordaten des IfG-Leipzig angepasst. Bei der aktuellen Rechnung wurde der lithostatische Anfangsspannungszustand berücksichtigt. Die Ergebnisse (d.h. die zeitliche Entwicklung der Dehnungen, Spannungen und Verschiebungen) wurden an den gefragten Positionen dargestellt. Die Flächenplots von Rechenergebnissen zu verschiedenen Zeitpunkten wurden ebenfalls fertig gestellt. Die berechneten und gemessenen Konvergenzraten sowie der minimalen Spannungsverlauf nach 35 Jahren der Streckenerstellung weisen eine gute Übereinstimmung auf. Dies verdeutlicht die genaue Simulation der grundlegenden Phänomene im Stoffverhalten von Steinsalz. Es ist bemerkenswert, dass sich die nun errechneten Konvergenzraten und Minimalspannungen um weniger als 0,5% gegenüber den früheren Rechenergebnissen des einfachen 1D-Modells unterscheiden. Eine ausführliche Beschreibung des verwendeten Stoffmodells befindet sich in Reference /1/. Eine detaillierte Darstellung der Rechenergebnisse wurde bei dem Workshop am 21. und 22. Sept. 2005 in Karlsruhe präsentiert.
- Im Mittelpunkt der weiteren Arbeiten zum AP6 standen die ausführliche Modellierung des komplexen Pfeiler-Strecke-Systems und die Erweiterung der Stoffgesetzformulierung zur Simulation des Bruchverhaltens von Steinsalz. Die Weiterentwicklung der Rechenprogramme MAUS und ADINA, insbesondere der Einbau eines erweiterten Stoffmodells von Steinsalz zur Beschreibung der volumetrischen Verformung und auch der Schädigung wurde durchgeführt. Dieses Materialmodell wurde dann zur Untersuchung der zweidimensionalen Pfeiler-Strecke-Struktur verwendet. Für die besonders schwierige Situation (d. H. Gebirgsdrücke von 17 und 15 MPa) traten jedoch numerische Probleme auf und die Rechnung wurde vorzeitig unterbrochen. Für die Fälle mit den Gebirgsdrücken von 12 bzw. 7 MPa wurden erfolgreiche Rechnungen über einen Zeitraum von 100 Jahren durchgeführt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Halbjahr 2006 werden die Modellrechnungen zu AP6b (Pfeiler-Strecke-Modell) abgeschlossen und die Ergebnisse auf dem nächsten, für Anfang Februar geplanten Workshop mit denen der Verbundpartner verglichen und diskutiert werden. Nach Vorliegen der Daten einzelner noch laufender Langzeitkriechversuche werden auch diese nachgerechnet und in den Vergleich einbezogen werden. Anschließend wird programmgemäß der Ergebnisbericht zum Teilprojekt (AP7) und – gemeinsam mit den anderen Projektpartnern – die vergleichende Zusammenfassung (AP8) erstellt werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Pudewills, A.; Numerical Modelling of the long-term Evolution of EDZ: *Development of material models, implementation in finite-element codes and validation*. Wissenschaftliche Berichte, FZKA-7185 (November 2005).

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität<br>Weimar, Amalienstraße 13, 99423 Weimar  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 C 1064</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichte-<br>verteilungen in Bentonitversuchsbauwerken   |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung<br>von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheits Gesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.05.2004 bis 30.04.2007  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>394.979,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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 halbertechnischen 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 halbertechnischen Versuchen
- AP8: Numerische Simulation der Feuchteausbreitung
- AP9: Konzeption und Entwurf eines Messgerätesystems für den Untertageeinsatz zur quantitativen Bewertung von Feuchte- und Dichteprofilen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP1/AP3/AP4:

Für die Entwicklung von indirekten Messverfahren zur Bestimmung ortsaufgelöster Feuchte- und Dichteverteilungen in porösen, wasseraufnehmender Stoffe auf Basis von Veränderungen der dielektrischen Eigenschaften dieser Stoffe bei Feuchte- und/oder Dichteänderungen wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Allgemeine theoretische Untersuchungen zum dielektrischen Mischungsverhalten verschieden strukturierter poröser, wasseraufnehmender Stoffe (3-Stoffe Modell: feste(r) Stoff(e) - Luft - Wasser).
- Betrachtungen zum Feuchte- und Dichteverhalten bzw. Porositätsverhalten wasseraufnehmender Stoffe 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.
- Vergleichende Untersuchungen zu Messverfahren im Frequenz- und im Zeitbereich, deren Messgrößen von den dielektrischen Eigenschaften der zu messenden Stoffe abhängig sind (Frequenzbereich: Resonatorverfahren, Zeitbereich: Time-Domain-Reflektometrie).
- 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.

Einen Schwerpunkt der Arbeiten bildeten die theoretischen und laborpraktischen Untersuchungen zur Rekonstruktion der orts aufgelösten Feuchte- und Dichteverteilungen entlang des TDR-Messkabels aus den gemessenen TDR-Signalen. Die bisherigen Untersuchungen wurden an den so genannten Vorwärtsmessleitungen (TDR-Einrichtungsmessleitung mit offenem Leitungsende) durchgeführt. Diese Messleitungen gestatteten aber nur eine qualitative Aussage zur orts aufgelösten Feuchte- und Dichteverteilung. Eine quantitative Rekonstruktion kann nur aus den Messsignalen von vorwärts und rückwärts messenden TDR-Leitungen hergeleitet werden. Dazu wurden Untersuchungen an antiparallelen TDR-Doppelmessleitungen und an umschaltbaren TDR-Einzelmessleitungen gemacht.

Für die experimentelle Überprüfung des dielektrischen Mischungsverhaltens verschieden strukturierter poröser, wasseraufnehmender Stoffe wurde der Messplatz mit den verschiedenen Messprobenapplikatoren (koaxiale Oberflächensonde für flüssige und feste Stoffe, koaxiale Messleitungen mit verschiedenen Innen- und Außendurchmessern (3/7 mm; 7/16 mm; 13/30 mm) und Längen (30/60/100/200 mm) für pulvrige und feinkörnige Stoffe, koaxiale Messzelle mit 85 mm Innen- und 200 mm Außendurchmesser und einer Länge von 250 mm für grobkörnige Materialien) zum Erfassen der dielektrischen Eigenschaften von unterschiedlich feuchte und dichten Materialproben genutzt.

#### AP6/AP9:

Für die experimentellen Untersuchungen zur Rekonstruktion der orts aufgelösten Feuchte- und Dichteverteilung wurde anstelle der einfachen TDR-Messleitung als erstes die antiparallele TDR-Doppelmessleitung mit und ohne längendefinierten dielektrischen Markierungen für eine genaue orts diskretisierte Feuchte- und Dichteauflösung eingesetzt. Die Erprobung dieser Anordnung begann unter Laborbedingungen sowie im MFPA-Druckversuchsstand und im halbtechnischen Versuch im 30-cm-Druckrohr an der Bergakademie Freiberg.

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

- AP1: Fortführung der theoretischen Betrachtungen zum dielektrischen Verhalten von Stoffgemischen (3-Stoffe-Modell) und experimentelle Überprüfung der Ergebnisse mithilfe der verschiedenen Messprobenapplikatoren (Oberflächensonde, Messleitungen und -zelle).
- AP2/AP3: HFS-Simulation der vorwärts und rückwärts messenden TDR-Messleitungen (antiparallele Doppelmessleitung und umschaltbare Einzelmessleitung) an verschieden strukturierten Materialien und Begleitung der Simulation durch entsprechende Laborversuche.  
Kalibriersimulation mit der antiparallelen TDR-Doppelmessleitung und vergleichende Laborversuche mit unterschiedlich feuchten und dichten Bentonitproben.
- AP6: Messungen mit der TDR-Doppelmesskabels im umgebauten und mit Druckmesssensoren ausgerüsteten MFPA-Druckversuchsstand.
- AP7: Fortführung der halbtechnischen Versuche im 30-cm-Druckrohr zur Erprobung der Doppelmessleitung für den Einsatz im konzipierten Untertage-TDR-Messsystem.
- AP8: Numerische Simulation der Feuchteausbreitung auf Grundlage der im 30-cm-Druckrohr messtechnisch ermittelten Feuchteverteilungen.
- AP9: Entwurf, Konstruktion, Dau und Erprobung der vorwärts und rückwärts messenden TDR-Messleitungen (umschaltbare TDR-Einzelleitungen mit integrierten Temperatur- und Drucksensoren in den TDR-Messköpfen) für das Untertage-TDR-Messsystem.

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1074</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten                       |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2004 bis 31.03.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>405.816,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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
- K&S Aktiengesellschaft, Bereich Geologie

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Verbundvorhaben gliedert sich in drei Teilvorhaben, die von den angeführten Institutionen in eigener Verantwortung durchgeführt werden.

Teilvorhaben I: „Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems“; Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Wuppertal

Teilvorhaben II: „Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit“; Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen

Teilvorhaben III: „Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten“; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Dieses beinhaltet zwei Arbeitspakete:

AP1: Vereinheitlichung und Neustrukturierung des EMR-Auswertesystems der BGR  
 AP2: Aussagemöglichkeiten der EMR-Messungen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Programmierarbeiten an der EMR-Auswertesoftware der BGR mit der Programmbibliothek Qt wurden fortgesetzt. Die Entwicklung verläuft größtenteils unter Suse Linux 9.3. Um die plattformunabhängige Programmierung zu testen und zu gewährleisten, wird derselbe Code von Zeit zu Zeit unter Windows XP und HP-UX neu kompiliert und getestet. Die bisher durchgeführten Arbeiten an der Software beinhalten:

- Darstellung mehrerer Radargrammspuren auf dem Bildschirm.
- Auswahl, Parametrisierung und Anwendung mehrerer benutzerdefinierter Dämpfungsausgleichsfunktionen.
- Ansätze zum Selektieren bestimmter Punkte einzelner Radargrammspuren
- Optimierung im Programmcode mit dem Ziel, zukünftige Änderungen und Ergänzungen als Module einfacher einbauen zu können.

Die Steuer- und Datenerfassungssoftware ist noch in ihrer Entwicklungsphase.

Im Wesentlichen besteht die Steuer- und Datenerfassungssoftware aus einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI) mit Menü- und Untermenüpunkten sowie aus Dialogen zur Konfiguration und Steuerung der Sonde für die Durchführung der Messung.

Zur Qualitätskontrolle müssen die Messdaten grafisch dargestellt und bewertet werden können. Zusätzlich zum eigentlichen Messvorgang ist ein Windenkontroller zum Heben und Senken der EMR-Sonde zu steuern. Hierbei muss die genaue Lage (Teufe) der Sonde erfasst und kontrolliert werden.

Der Konfigurationsteil beinhaltet die Hauptmenüpunkte; Datei, Parameter, Winde, Test, Bearbeitung und Optionen. Nach erfolgter Konfiguration der Hardware und des Messvorgangs wird der Messbetrieb aufgenommen bis z.B. die Zielteufe erreicht wurde.

- Ein Großteil der erforderlichen Menüpunkte für die Konfiguration sind erstellt, wie z.B. das Laden/Speichern von Parameterdaten aus einem definierten Header, die Eingabe der Teufe etc. Ein Teil der in diesem Programm erstellten Menü-/ bzw. Untermenüpunkte müssen noch entwickelt werden. Diese können aber erst in Zusammenhang mit der noch zu entwickelnden Hardware fertig gestellt werden (Windenkontroller, EMR-Sonde etc).
- Es müssen Programmmodule konzipiert werden, die die eigentliche Steuerung darstellen, z.B. Ansteuerung der Hardware während des Messbetriebs, die Überwachung der Zielteufe, Bereitstellung von Speicher für Messdaten etc.
- Je nach Datenübertragungsart müssen Konzepte zur Datenspeicherung entwickelt werden.
- Für eine erste Bewertung der Rohdaten sind primäre Auswertelogarithmen zu implementieren.

Für die Verbesserung der Aussagemöglichkeiten von EMR-Messungen (Radargrammen) wird das Konzept der Horizontverfolgung und -erkennung aus der Seismik, das an der TU-Clausthal erarbeitet wurde, aufgenommen. Hierbei sind erste Untersuchungen der Übertragbarkeit auf Radargramme vorgenommen worden.

### 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 Verbesserung der Aussagemöglichkeit von Radargrammen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1084</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2004 bis 31.03.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>587.696,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Montan-technologie GmbH (DMT) in Essen durchgeführt. Zur Erläuterung der Gesamtziele des Verbundvorhabens siehe Zwischenbericht der BGR.

### 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 Modellierungen) im Bereich „Theoretische Elektrotechnik“ (TET), sowie AP6 (Bau und Test Analog- und Digitalelektronik), im Bereich „Messtechnik“ (MT). Zusätzlich wurde in Kooperation aller drei Gruppen ein neues Verfahren zur Mikrowellen-Kommunikation zwischen den Modulen entwickelt.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP4: Entwicklung und Konstruktion des HF-Teils der Empfangsantenne

Ein erster Antennendemonstrator wurde in einem hierfür speziell entwickelten Testbett hinsichtlich einiger systemrelevanter Eigenschaften (Richtwirkung der Teilantennen, Frequenzgang der Eingangsimpedanz) experimentell charakterisiert. In weiteren Experimenten wurde das Konzept der adaptiven Rekonfiguration von Antenneneigenschaften - insbesondere hinsichtlich des Frequenzgangs des Signal-Rausch-Abstands - verifiziert. Verschiedene Alternativen für das Zusammenschalten der insgesamt vier Teilantennen mit den drei Vorverstärkern (Verstärkerketten) des HF-Frontends und Möglichkeiten zur Variation dieser Zusammenschaltung mittels elektronischer Schalter wurden untersucht.

#### AP5: Erweiterte feldtheoretische Modellierungen

Aufbauend auf den Arbeiten aus dem letzten Berichtszeitraum wurde das strenge Verfahren zur Modellierung von Dipolantennen in rotationssymmetrischen Bohrlöchern so erweitert, dass ein sich nicht zentrisch im Bohrloch befindlicher Antennenträger in guter Näherung berücksichtigen lässt; die dabei verwendeten Näherungen wurden durch eingehende numerische Simulationen abgesichert. Unter Verwendung des dabei entstandenen Verfahrens wurden erste Untersuchungen bezüglich der Auswirkungen einer unsymmetrischen Lage der Empfangsantennen auf deren Richtcharakteristik durchgeführt. Unter Verwendung des in AP 2 entwickelten Verfahrens wurde damit begonnen, Störungen in der Schichtstruktur zu berücksichtigen, und ein Radarsystem, bestehend aus Sende-, Empfangsantenne und zu detektierender Inhomogenität, zu modellieren. Dafür wurden zunächst einfache Modelle entwi-

ckelt, und es wurde damit begonnen, diese im Rahmen des entwickelten Programmpaketes zu implementieren.

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

Die Übertragungseigenschaften des Bohrlochkabels wurden untersucht. Die elektrischen Parameter wurden gemessen und dokumentiert. Gute Datenübertragungsraten oberhalb 1 MBit/s sind mit DSL Modems erzielt worden. Verschiedene HF Verstärker wurden getestet und dokumentiert. Erweiterte Tests wurden mit einem HF Verstärker durchgeführt. Dieser Verstärker wird im Prototyp eingesetzt. Eine Baugruppe zur A/D Umsetzung und Triggersteuerung wurde gefertigt. Erste Tests der A/D Umsetzer sind erfolgt. Diese Baugruppe ermöglicht es, die Taktaufbereitung zu testen. Während den Arbeiten an dem Vorhaben ist ein Vorschlag zur Verbesserung der Kommunikation der einzelnen Module entstanden. Weitere Komponenten wurden für folgende Tests ausgewählt.

#### Zusätzliche Arbeiten, die in Kooperation der 3 Arbeitsgruppen durchgeführt wurden

Im Berichtszeitraum wurde wegen des für das Frühjahr 2006 geplanten ersten In-situ-Tests des Messsystems im verstärkten Maße an der Integration der bisherigen Einzelergebnisse in ein Demonstrator-System gearbeitet. Zusätzlich zur bisherigen Planung wurde intensiv an der Realisierung einer Mikrowellen-Kommunikationsstrecke für den Datenaustausch zwischen den einzelnen Modulen gearbeitet. Auf Grund technologischer Randbedingungen wurde für die ersten Testsysteme eine Betriebsfrequenz von 2,45 GHz ausgewählt und hierfür eine neuartige Struktur zur Wellenführung in den Bohrlochabschnitten zwischen den Modulen entwickelt, welche eine geringe Streckendämpfung ermöglicht, ohne das Radarsystem merklich zu stören. In Kooperation zwischen HFT und TET wurden Grundlagen und Entwurf einer Bohrloch-Wellenleiter-Strecke erarbeitet. Darauf aufbauend wurden verschiedene Strukturen realisiert und erfolgreich experimentell charakterisiert. Da zur Datenübertragung zunächst der Bluetooth-Standard benutzt werden soll, wurde im Bereich MT ein Bluetooth-Modul zum Testen von drahtloser Kommunikation im Bohrloch aufgebaut.

## **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP4: Bis zum geplanten ersten In-situ-Test des Antennensystems Anfang April 2006 wird der endgültige Detailentwurf der Antennenstruktur einschließlich der schaltbaren Verbindungen zum Elektronikmodul fertig gestellt. Weiterhin sind technische Details der Integration der Mikrowellen-Kommunikationsstrecke und ihrer Komponenten (z.B. Mikrowellenantennen an Außenseiten der Elektronikbox) in die Bohrlochantennen-Struktur zu lösen.

AP6: Eine dreikanalige HF-Verstärkerschaltung wird aus einer Kombination von HF-Verstärkern und HF Schaltern aufgebaut. Eine Verbesserung der Taktaufbereitung der A/D Umsetzer Baugruppe ist geplant, um Zeitungenauigkeiten zu verringern und damit eine bessere Genauigkeit zu erreichen.

#### Feld- und Labortests sowie Optimierung der HF-Komponenten

Im folgenden Zeitraum werden weitere Labortests und insbesondere der erste In-situ-Test des Antennensystems durchgeführt. Parallel dazu werden weitere Arbeiten sowohl zur Optimierung einzelner hochfrequenztechnischer und elektronischer Hardwarekomponenten, zur Weiterentwicklung des Gesamtsystems (z.B. erweiterte Adaptivität, verbesserte Signal-Akquisition, Optimierung der Datenkommunikation etc.) durchgeführt. Hierbei werden die Schwerpunkte der Arbeiten in zunehmendem Masse von den Ergebnissen der Feldtests beeinflusst werden.

## **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Zur Veröffentlichung eingereicht:

A. Becker, V. Hansen, „On the calculation of the radiation properties of dipole antennas in cylindrical boreholes considering large scatterers“

Olaf Borchert, Albrecht Glasmachers, Michel Aliman, „3D-Borehole Radar Data Acquisition“

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Deutsche Montan Technologie GmbH, Am Technologiepark 1,<br>45307 Essen  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1094</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2004 bis 31.03.2008  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>395.241,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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 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 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

Zu Teilvorhaben II:

In diesem Berichtszeitraum des Teilvorhabens II „Entwicklung und Bau der Steuer und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit“ wurden die elektronischen Baugruppen/ Prototypen des „Receiver Module“ mit den mechanischen Komponenten konstruktiv zusammengeführt. Die mechanischen Komponenten befinden sich in der Herstellung. Außerdem wurden zur Softwareplanung für die einzelnen programmierbaren Baugruppen Prozesse definiert, welche die Abläufe im Messsystem steuern werden. Die Baugruppen für die Datenerfassungseinheit wurden beschafft und getestet.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Mechanischer Aufbau des Gesamtsystems:

Wesentliches Element der Anlage ist das Gehäuse der einzelnen Sondensegmente. Die SONDENGÄHÄUSE setzen sich aus den so genannten Druckrohren und den dazugehörigen Verschluss- bzw. Verbindungselementen zusammen. Diese Gehäuse müssen zum Einen den Temperatur- und Druckanforderungen entsprechen und zum Anderen dürfen sie auf keinen Fall elektrisch leitfähig sein. Durch diese Anforderungen werden die verwendbaren Werkstoffgruppen bereits erheblich eingeschränkt. So dass letztendlich zwischen PEEK (Polyetheretherketon) und Faserverbundwerkstoffen entschieden werden muss. Verarbeitungstechnische Aspekte sprechen für die Verwendung von PEEK, dagegen stehen die hohen Kosten dieses Materials. Bei der günstigeren Alternative, den Glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) finden sich jedoch nur wenige hoch spezialisierte Betriebe, die in der Lage sind, präzise Oberflächen mit der notwendigen Güte für O-Ring Dichtungen herzustellen. Das Optimum sehen wir in der Kombination beider Werkstoffe, GFK als Druckrohr und PEEK als Rohmaterial für die Verschluss-/Verbindungselemente. Die Zuverlässigkeit und Dichtigkeit von entsprechenden Klebeverbindungen muss noch getestet werden, was noch Einfluss auf die in der Konstruktion befindlichen Verbindungselemente hat.

Ebenfalls in Arbeit befindet sich das zentrale Gehäuse für die elektronischen Komponenten innerhalb der Empfangsantenne. Es stehen unter Berücksichtigung der elektrischen Anforderungen 40 mm Durchmesser zur Verfügung. Die Länge dieses Gehäuses beträgt 700 mm, wovon auf jeder Seite des Dipols noch 150 mm in die Antennenstruktur hineinreichen. Das Gehäuse nimmt außer einer Stromversorgung auch noch ein Orientierungsmodul auf, welches zur Bestimmung der Sondenlage im Bohrloch benötigt wird. Die Antennenleiter selbst werden über axiale Steckverbinder kontaktiert. Die Steckverbinder sind durch Montagerringe gehalten, welche sich im mittleren Sektor des Elektronikgehäuses befinden.

Verteilung der Prozesse:

In den einzelnen Sondenmodulen und der Übertageeinheit laufen verschiedene Prozesse ab. Diese Prozesse müssen zentral gesteuert werden, bzw. sich gegenseitig auslösen. Die zentrale Steuerung erfolgt von der Übertageeinheit. Hier ist einer von vier Prozessen aktiv: Halt, Standby, Parametrierung, Messung. Der Parametrierungsprozess lädt die entsprechenden Parametrierungsdaten in das "Control und Communication Module" (CCM) und fordert dann kontinuierlich, teufenunabhängig, Messdaten vom CCM an. Im Messprozess werden abhängig von der Windenaktion und der aktuellen Teufe, Messdaten angefordert. Während des Standby Prozesses werden keine Messdaten angefordert. Das CCM wird jede Sekunde aktiviert und sendet Systemdaten zur Übertageeinheit. Im Halt Prozess sind alle Sondenmodule inaktiv. Alle 15 Sekunden testen "Receiver Module" (RM) und "Transmitter Module" (TM) die Eingänge um sich aktiv schalten zu können.

Während der Parametrierung laufen sowohl im CCM als auch im RM Prozesse ab, die das Eintreffen von Parametern registrieren, die Parameter laden und auf Anforderung von der Übertageeinheit, Messdaten mit diesen Parametern liefern.

Nach einer Datenanforderung (Triggerkommando) wird im RM ein autonomer Prozess gestartet, der die drei Hardwarekanäle und eine über die Parameter definierte Anzahl von "Softwarekanälen" erfasst und an das CCM überträgt. Die Zusatzdaten wie Lage, Temperaturen und Batteriespannung werden durch ein zusätzliches Kommando angefordert.

Das CCM übernimmt die Datenvorverarbeitung sowie die -kompression und sendet die gewonnenen Daten an die Übertageeinheit weiter.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fertigung der mechanischen Bauteile, Fertigstellung der Prototypen - Druckrohre, Durchführung einer Testmessung .

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8,<br>99423 Weimar   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1104</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme                              |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2004 bis 31.07.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>343.086,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

#### Messung der Saugspannung

1. totale Saugspannung: 2 verschiedene Sensoren wurden zur Messung bei 20 und 80 Grad benutzt („non-warmed head capacitance sensor“ und „warmed head capacitance sensor“). Als Resultat sogenannte „Suction characteristic Curves“, d.h. der Zusammenhang zwischen Saugspannung und Wassergehalt, ermittelt.

Siehe: Schanz et al. (2006) Temperature effects on suction characteristic curve of bentonite-sand mixtures, The 4<sup>th</sup> International conference on unsaturated soils, Arizona, USA.

2. Osmotische Saugspannung: 2 Arten von Bentoniten (Calcigel und 2 natürliche Bentonite) wurden mittels „Squeezing“-Technik untersucht. Die Ergebnisse wurden mit dem Quelldruck der jeweiligen Materialien, der gesondert ermittelt wurde, verglichen. Der Einfluss der initialen Porenzahl und des initialen Wassergehalts bzw. des maximalen Auspressdrucks wurde quantifiziert.

#### Austrocknungs- und Aufsättigungsverhalten

Es wurden die „Main drying“ und die „Main wetting“ Kurven von 3 Mischungen unterschiedlichen Anteils Sand bzw. Bentonit untersucht. Die Versuche laufen teilweise noch. Initial wurden sowohl gesättigte als auch „as prepared“ Proben untersucht.

#### Quelldruckversuche

Es wurden „One step swelling pressure test“ und „Multy steps swelling pressure test“ bei 20 und 80 Grad durchgeführt. Diese Versuche dauern zur Zeit noch an.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Eindimensionale Kompressionsversuche in einer temperaturkontrollierten modifizierten Oedometerzelle
- Fortführung der temperaturkontrollierten Quelldruckversuche
- Entwicklung eines Säulenversuchs zur Untersuchung des THM-Verhaltens.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

3 Konferenzbeiträge (s.o. und TU Braunschweig bzw. University of Kyoto, Details über tom.schanz@bauing.uni-weimar.de)

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstr. 7, 72074 Tübingen   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1114</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme                              |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2005 bis 31.12.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>319.906,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 T3: Entwicklung und Implementierung eines Kriechmodells, Verifizierung anhand von Literaturdaten (Wang & Kolditz 2006a),
- WP T2/T3: Entwicklung und Implementierung eines Bruchmechanik-Modells für Schädigungsprozesse (Wang & Kolditz 2006b),
- WP T5: Es erfolgte eine Weiterentwicklung numerischer Berechnungsverfahren für streng gekoppelte Mehrfeld-Probleme (kombinierte partitionierte / monolithische Methoden). Entwicklung und Implementierung eines Newton-Raphson Verfahrens für monolithische Schemata zur Kopplung von Druck-Verschiebungs-Problemen (Wang et al. 2006),
- WP T6: Vorgezogen wurde die Entwicklung einer neuen C++Element-Klasse für gekoppelte Prozesse. Die Algorithmen für die numerischen Verfahren sind nun Gleichungstyporientiert (d.h. elliptisch, parabolisch, hyperbolisch) (Wang and Kolditz 2006b). Eine weitere Verbesserung ist die Implementierung eines radialsymmetrischen Elements, dass durch die Objekt-Orientierung für alle Prozesse zu Verfügung steht.
- WP T7: Erste Ergebnisse für THM Modelle auf Höchstleistungsrechnern (Parallel-Vektor-Rechner) (Kemmler et al. 2005).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

In der nächsten Projektphase geht es insbesondere 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-mechanisch Modellen und Simulation of Höchstleistungsrechnern

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Wang W and Kolditz O (2006a): GeoSys/RockFlow – Creep Model, Technical Report.

Wang W and Kolditz O (2006b): Numerical analysis of strong discontinuity propagation in dilatant media: Enhanced strain finite elements and tracking strategy, Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech (submitted).

Wang W, Datcheva M, Schanz T, Kolditz O (2006): A sub-stepping approach for elasto-plasticity with rotational hardening. Computational Mechanics, vol 37(3): 266-278.

Wang W and Kolditz O (2006b): Object-oriented finite element analysis of thermo-hydro-mechanical (THM) problems in porous media, Int. J. Numerical Methods in Engineering (submitted).

Kemmler D, Adamidis P, Wang W, Bauer S and Kolditz O (2005): Solving coupled geoscience problems on high performance computing platforms. Lecture Notes in Computer Science 3515: 1064-1071.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße<br>6, 09599 Freiberg  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 C 1124</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke   |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2004 bis 31.03.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>642.644,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 sind Aussagen zur Beeinflussung der Kinetik der Zementsteinkorrosion und damit neue Erkenntnisse zum Langzeitverhalten von Beton unter salinaren Bedingungen.

## 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**

AP 1: Diskussion des Zwischenberichtes.

AP 2: Untersuchung der Rissverteilung in Solebeton-Probekörpern aus der Grube Sondershausen. Zu den Einflüssen von Einbauimperfectionen und nachfolgender Korrosion auf die Permeabilität sind noch weitere Untersuchungen erforderlich. Erste Berechnung der Hydratationswärmeentwicklung verschiedener Betonmischungen und Vergleich mit Ergebnissen von in situ Versuchen.

AP 3: Zwischenbericht zur Bitumenauswahl für Gussasphalt. Untersuchungen zur Rheologie bituminöser Bindemittel, Beschreibung der Strukturviskosität von Destillations- und Oxidationsbitumen.

AP 4: Untersuchungen zur Einbautechnologie einer Asphalt dichtung, insbesondere durch Einpressen vorgefertigter Gussasphaltsteine unter in situ Bedingungen. Daraus wurde eine optimierte Asphaltrezeptur abgeleitet, die eine gute Verarbeitbarkeit (Einbautemperatur, Fließfähigkeit, Restporengehalt) und eine hohe Dichtwirkung zeigt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP 2: Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Hydratationswärme und Rissbildung in unterschiedlichen Betonmischungen (mikromechanische Betrachtungen). Versuche zur Kompensation des Schwindverhaltens. Versuche zur Beschränkung der zu erwartenden Rissbreiten im Salzbeton durch Modifikation des Zuschlages.

AP 4: Fortsetzung eines In-situ-Versuches zum Test eines Gussasphaltpfropfens in der Grube Teutschenthal. Aufbau einer halbtechnischen Versuchsapparatur für die Dichtheitsprüfung von Asphalt-elementen bei unterschiedlichen Flüssigkeitsdrücken.

AP 5: Materialauswahl für Kombinationsdichtungen aus schüttfähigen Bentonitmaterialien und Gussasphalt. Vorbereitung halbtechnischer Versuche.

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2a,<br>38678 Clausthal-Zellerfeld  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 C 1134</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern   |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2004 bis 30.06.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>424.188,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Langefeld          |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist die Untersuchung eines geeigneten Baustoffs für die Erstellung von Dammbauwerken für Untertage-Deponien und Endlager im Salzgebirge unter besonderer Berücksichtigung der Langzeitsicherheit, Dehydratationsvorgänge und Migration von freigesetztem Kristallwasser sowie die Bereitstellung eines einsatzfähigen Verfahrens.

Vor Anlaufen eines Großversuchs sollte die pneumatische Einbringbarkeit des Dammbaustoffes und die Eignung der Technologie im Technikumsmaßstab untersucht werden. Bei der Konzeption des Großversuches ist neben den logistischen und technologischen Fragestellungen auch die Instrumentierung und wissenschaftliche Aufnahme der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Das Forschungsziel ist die Untersuchung zur Erstellung eines sicheren und langzeitstabilen Verschlusses von Einlagerungskammern und Strecken nach einer Verbringung von chemisch-toxischen und radioaktiven Abfällen im Salinar.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Untersuchung der pneumatischen Einbringbarkeit des Dammbaustoffes im Technikumsmaßstab am Institut für Bergbau der TU Clausthal und auf dem Forschungsbergwerk Asse
2. Konzeption eines Großversuches auf dem Forschungsbergwerk Asse
3. Aufbau und Durchführung des Großversuches
4. Datenerfassung, Auswertung und wissenschaftliche Aufbereitung der Versuchsergebnisse
5. Rückbau des Großversuches und Erstellung eines Abschlussberichtes

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

Im Berichtszeitraum wurden hauptsächlich Arbeiten des Arbeitspakets 2 durchgeführt, d.h. es stand die Konzeption des Großversuchs auf dem Forschungsbergwerk Asse im Vordergrund. Hierzu wurde der Versuchsstandort auf der 800 m Sohle ausgewählt und die Aufstellung der Versuchsapparatur festgelegt.

Für die Überwachung des Versuches und die anschließende Datenaufnahme in dem erstellten Verschlussbauwerk sollen Messwertaufnehmer für Temperatur, Feuchtigkeit und Druck angewendet werden. Die Messwertaufnehmer und die angeschlossene Messwertverstärkung sowie die Datenverwaltung werden am Institut für Bergbau entwickelt, konstruiert und gebaut. Des Weiteren wurde auf dem Statusgespräch in Teutschenthal durch Prof. Langefeld ein Vortrag zum Stand der Arbeiten des Projektes gehalten.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im kommenden Berichtszeitraum soll die Konzeption des Großversuchs zu Ende geführt werden. Im Ergebnis soll eine erprobte und funktionale Messtechnik vorliegen sowie der Versuchsaufbau abschließend konzipiert und getestet sein.

Vor der Versuchsdurchführung muss ein Betriebsplan angefertigt und vom zuständigen Bergamt genehmigt werden.

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), Bautzner Landstraße<br>128 (B6), 01328 Dresden  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1144</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien                     |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2004 bis 30.09.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>197.205,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

- ISDA Entwurf
  - vereinheitlichte Tabellenstruktur, gemeinsame Nutzer- und Zugriffsverwaltung
- Überführung von RES<sup>3</sup>T in die ISDA-Struktur
  - Aufgliederung komplexer Tabellen (Probencharakterisierung)
  - Einbau neuer Tabellen (Zusatzinformationen)
- Umsetzung des ISDA-Entwurfs in PostgreSQL

AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces

- Installation des ISDA-Prototypen auf einem Webserver (Implementierung der Software bei FZR)
  - Apache (Webserver)
  - PostgreSQL (Datenbank)
  - PHP (Nutzerinterface)
  - phpPgAdmin (Datenbankverwaltungstool)
- Designentwurf für das Nutzerinterface, die Nutzerverwaltung und die Dateneingabe
- Entwurf von Abfragen der Datenbank

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Sichtung vorhandener Literatur, Auswertung und Dokumentation und kontinuierliche Recherche neuer Literatur (Zeitschriftenartikel, Dissertationen u.a.)
- Wechselseitige Bereitstellung von Literatur

AP4: Experimentelle Schließung von Datenlücken

- Analytik der Feststoffe (BET, ICP-MS, XRD)
- Durchführung von ersten Batchversuchen: Sorption von Uran und Blei an Feinsand; Variation des Verhältnisses Volumen / Masse (V/m)

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: - Überführung von Testdaten in die neue Tabellenstruktur

AP2: - Entwurf weiterer Datenbank-Abfragen, Verbesserung Nutzerinterface

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

AP4: - Durchführung von Batchversuchen zur Sorption von Uran und Blei:

- an Quarz und Muskovit: Variation V/m
- an Feinsand: Variation pH, Erstellen von Sorptionsisothermen
- Nach Integration der durch Recherchen erfassten Daten wird das Programm für experimentell notwendige Arbeiten fortlaufend aktualisiert.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Deutsche Montan Technologie GmbH, Am Technologiepark 1,<br>45307 Essen   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1154</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien                     |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2004 bis 30.09.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>88.492,50 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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

- Zusammenführung von SODA und RES<sup>3</sup>T als logisches Modell (weitgehend abgeschlossen)
- Auswertung von Ionenaustauschprozessen anhand von Daten aus Säulenversuchen

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Sichtung vorhandener Literatur, Auswertung und Dokumentation sowie kontinuierliche Recherche neuer Literatur (Zeitschriftenartikel, Dissertationen u.a.)
- Modellierung von Säulenperkolationen anhand von Kd-Sorptionsparametern
- Anwendungen von Isothermenmodell und Oberflächenkomplexierungsmodell bei der Stofftransportmodellierung

### 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

- Kontinuierliche Erfassung, Auswertung und Dokumentation vorhandener und neuer Literatur
- Dateneingabe in die ISDA-Datenbankstruktur unter Verwendung eines vorläufigen Frontends

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1164</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien                     |  |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2004 bis 30.09.2007   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>337.157,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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

- ISDA Entwurf: vereinheitlichte Tabellenstruktur, gemeinsame Nutzer- und Zugriffsverwaltung

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Weitere Literaturrecherchen in der GRS-Bibliothek, der TU-Braunschweig, der TIB, bei DLR sowie mit Suchmaschinen und Tools für wissenschaftliche Literatur:
  - Current Contents, Phys, Chem & Earth (Thomson Scientific; >8.000 Journale)
  - OLC - Online Contents (Aufsatztitel aus >18.500 Zeitschriften mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt)
  - Scirus, Earth & Planetary Sciences (umfassende wissenschaftliche Suchmaschine im Internet (>200 Mio wissenschaftsrelevante Webseiten))
  - Scopus (Abstracts und Indizierung von >15.000 peer reviewed titles)
- Schwerpunktsetzung bei den Elementen As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn sowie den Begriffen „Schwermetalle“ bzw. „Heavy Metal(s)“
- Auswertung sämtlicher (mehrere 1000) Rechercheergebnisse hinsichtlich Vorhabensrelevanz und Zuordnung der Zitate zu Kontaminanten und Gesteins-/Mineralmatrices
- Wechselseitige Bereitstellung von Literatur

AP4: Experimentelle Schließung von Datenlücken

- Erstellung einer „Standard Operation Procedure“ für die Versuchsserien mit jeweils einem natürlichen und einem synthetischen Muskovit-Quarz-(Hämatit) System (Sandstein) bzw. Granitsystem
- Durchführung der Versuchsserien in Form einer Matrix mit 8 Konzentrationsstufen, 3 (bzw. 4) unterschiedlichen Lösungen, verschiedenen Gesteins-/Mineralmatrices und jeweils 3 parallelen Ansätzen (insg. ca. 750 Ansätze)

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Überführung von Testdaten in die neue Tabellenstruktur

AP3: Kontinuierliche Erfassung, Auswertung und Dokumentation vorhandener und neuer Literatur sowie deren Vorbereitung zur 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><br>EnviCon Dr. Veerhoff & Scherschel GdR, Staffelgasse 15,<br>53347 Alfter  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1174</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien                         |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2004 bis 30.09.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>231.985,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

- Die vereinheitlichte Struktur wurde sowohl als Modell als auch als physischer Entwurf unter PostgreSQL fertig gestellt
- Erste Regeln zur Datenkonsistenz wurden formuliert
- Programmierung erster serverseitiger Triggerfunktionen zur Durchsetzung von inhaltsbezogenen Regeln zur Datenkonsistenz
- In den Ausgangsdatenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T enthaltene Felder wurden als Eigenschaften und Optionen sowie deren entsprechende Zuordnungen in ISDA einge spielt

AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces

- Bereitstellung komplexer Eigenschaften und Optionen (z.B. Elemente, Liganden und Geologiedaten) zwecks Zugriffsvereinfachung in Form serverseitiger Views
- Skizzierung eines Interfaces für Dateneingabe und -verwaltung sowie die Nutzerverwaltung

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Weitere Literaturrecherchen in den Universitäts-Bibliotheken sowie in den Instituts-internen Veröffentlichungen (Diplomarbeiten, Dissertationen, Projektarbeiten) der Universitäten Aachen (Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre), Bonn (Fachbereiche Geologie, Agrarwissenschaften, Physikalische Chemie), Köln (Fachbereich Geologie), Gießen (Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement), Halle (Agrarwissenschaften), Kiel (Fachabteilung für Hydrologie und Wasserwirtschaft mit der Schwerpunktsetzung bei den Elementen As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn in Böden und Sedimenten)
- Auswertung sämtlicher Rechercheergebnisse hinsichtlich Vorhabensrelevanz und Zuordnung der Zitate zu Kontaminanten und Gesteins-/Mineralmatrices
- Wechselseitige Bereitstellung von Literatur

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1:

- Planung und Durchführung der Migration von Nutzdaten aus SODA und RES<sup>3</sup>T nach ISDA
- Formulierung weiterer Regeln zur Datenkonsistenz
- Programmierung serverseitiger Funktionalität zur Teil-Automatisierung der Dateneingabe und zur Durchsetzung von Regeln zur Datenkonsistenz
- Programmierung einer Logging-Funktion zur Protokollierung der Datenbanknutzung

AP2:

- Bereitstellung weiterer Views
- Formulierung weiterer notwendiger Fähigkeiten des Web-Interfaces

AP3:

- Kontinuierliche Erfassung, Auswertung und Dokumentation vorhandener und neuer Literatur sowie deren Vorbereitung zur datenbankmäßigen Erfassung

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastraße 27c, 80686 München   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1184</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2004 bis 31.01.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>469.877,50 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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:* Zur Optimierung der Messkonfiguration wurden weitere Labormessungen an einem Steinsalzblock mit verschiedenen Sende-Empfangs-Prüfköpfen, variierten Sendesignalen und Messgeometrien ausgeführt. Ein neu entwickelter Leistungsverstärker mit höherer Leistung befindet sich in der Erprobungsphase.

*Arbeitspunkt 3:* Für die im April 2005 in einer Maschinenstrecke der Grube Sondershausen gewonnenen Sonar- und Radardaten wurden neue Interpretationstechniken entwickelt. Mit diesen Bearbeitungstechniken konnten 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 Frühjahr 2006 mit einem Leistungsverstärker mit höherer Leistung fortgesetzt und verbesserter Ankopplungstechnologie der Sensoren fortgeführt werden. Gleichzeitig wird die Entwicklung methodenübergreifender Interpretationstechniken zur sicheren Charakterisierung des Auflockerungszustandes in der Saumzone vorangetrieben. Im Jahr 2006 sollen die Untersuchungen an einem Messort beginnen, an dem eine Validierung der Sonar- und Radar- Messergebnisse an Daten von Permeabilitäts- und Verformungsmessungen erfolgen kann.

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Ilmenau, Max-Planck-Ring 14,<br>98684 Ilmenau   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1194</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthfrequenz-Radar  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2004 bis 31.01.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>294.886,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

- Aufbau und Test des Schutzgehäuses inkl. Steuer- und Kontrolleinheiten, 2-Kreis-Kühlung, Entwurf und Aufbau eines Peripheriegehäuses für PC-Bedienkomponenten und Antennenstauraum
- Aufbau und Anpassung der Radarelektronik für das Basisband bis 4,5 GHz, Anpassung der Software zur Datenaufzeichnung
- Test Stimulusspektrum, Dynamikbereich, Gleichtaktunterdrückung Basisbandmodul
- Test monostatischer und bistatischer Messanordnungen (unsymmetrisch und symmetrisch)
- Test und Vergleich verschiedener Kalibrierverfahren für monostatische Messanordnungen, Vorbereitung einer Veröffentlichung, welches dieses Thema beinhaltet
- Erreichte Dynamik bei Nutzung von 3-Term-Korrektur ohne Antennen hervorragend: >70 dB
- Labormessungen von Reflektionen an dünnen Schichten als erstes Testmodell zur Detektion von dünnen Spalten, Vorbereitung einer Veröffentlichung, welches dieses Thema beinhaltet
- Detektierbarkeit von Plexiglasscheiben der Stärken 2 mm und 1 mm sowie einer Laserfolie (Stärke <0.1 mm) im Nahfeld einer Hornantenne nachgewiesen
- Test neuer Konzeptionen zur Bandbreitenerweiterung, Auswahl von geeigneten Komponenten (Mischer, Verstärker etc.), Beginn der Evaluierung mit Experimentierschaltungen im Labor: Überabtastung zur Vermeidung analoger Filter, Kombination von Basisband mit IQ-Signalen
- Weitere Tests elektronischer Teilkomponenten des Ultra-Breitband-Radars

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Testmessungen im Salzbergwerk Hera (Kali & Salz AG) als ersten Test des eigenen Radarequipments unter Tage (Messung einer Kalibrierstrecke, welche zur Prüfung von schmalbandigen kommerziellen Radargeräten zur Firsterkundung verwendet wird)
- Weitere Messungen in Maschinenstrecken; gemeinsam mit Akustikmessungen des IZFP
- Entwicklung von Schnittstellenmodulen zur Bandbreitenerweiterung und integrierter Kalibrierung, Test von Verfahren zur Dynamikverbesserung bei Verwendung realer Antennen
- Aufbau eines zweiten Basisbandmoduls, welches entsprechend der bisherigen Erfahrungen modifiziert, verbessert und für eine Bandbreitenerweiterung vorbereitet wird
- Testmessungen mit erweiterter Bandbreite, Evaluierung der Schnittstellenmodule
- Entwicklung und Test von Kalibrierverfahren für bistatische Messanordnungen sowie Messungen mit symmetrischen Signalen (bisher allgemein wenig bearbeitetes Forschungsgebiet)
- Definition der technischen Parameter des Radarscanners, Konzeption und Konstruktion eines Scanners und Test im Labor: Einstrahlwinkel/Reduktion Oberflächenreflexes
- 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
- Nachbildung von Störszenarien (Clutter, Mehrfachreflexe) im Labor, um weitere experimentelle Gegenmaßnahmen/numerische Methoden zur Störunterdrückung in den Messdaten zu erforschen
- Durchführung weiterer Experimente unter Tage zum Sammeln von realen Messdaten
- Radar-Datenverarbeitung
  - Vorverarbeitung / Datenaufbereitung, Einbeziehung Antennencharakteristiken und Kalibrierung
  - Evaluierung von interferometrischen und bildgebenden Verfahren
  - Erstellung eines Detektionskonzeptes und Charakterisierungskonzeptes

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Eigenschaften und Verbesserungsmöglichkeiten aktueller M-Sequenz-Radarelektronik, Vergleich von Kalibrierverfahren für monostatische Anordnungen (interne Präsentationen und Berichte)

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG, Straße<br>der Einheit 9, 06179 Teutschenthal   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 C 1204</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit); Teil 2: Erprobung von Funktionselementen in situ             |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.11.2004 bis 31.12.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>4.434.956,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Carnallitit.

## 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 Verschluss-elementen 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 Die Materialauswahl für Dichtung, Lastabtrag und Vorbauelemente wurde im Wesentlichen abgeschlossen. Die Ausgangspunkte für mittelmaßstäbliche Laborversuche (Vorbauelement) und für in situ Untersuchungen (Lastabtrag und Dichtungen) wurden erarbeitet und in Untersuchungskonzepte überführt. Einzelelemente des Dammbauwerkes wurden zusammen mit den zugehörigen Messkonzepten für die in situ Untersuchung vorbereitet.
- AP2 Zur Vorbereitung auf die Untersuchungen an den veränderten Dammstandorten wurden Vorarbeiten zur geomechanischen, geologischen und geohydraulischen Charakterisierung der neuen Dammstandorte durchgeführt. Die umfangreiche logistische Vorbereitung bestand hauptsächlich im Nachriss von ca. 500 m Zugangsstrecke zu den Dammstandorten und den Lokationen für die in situ Untersuchungen. Zum Ende des Berichtszeitraumes waren diese Standorte nahezu erreicht
- AP3 Die Entwicklung des interdisziplinären Messkonzeptes wurde zunächst auf die Einzelelemente eines Dammbauwerkes, die zuerst in situ untersucht werden sollen, konzentriert.
- AP4 Bis zur Herstellung der Arbeitsbedingungen an den eigentlichen Versuchsstandorten wurden an Ersatzstandorten wesentliche Untersuchungen an Abdichtungsmaterialien durchgeführt und Testmethoden weiterentwickelt. Der MgO-Beton und sein Anbindeverhalten zum Gebirge wurde weiter untersucht.
- AP5 Das kalthärtende 2-Komponentenbitumen wurde bis zur Patentreife weiterentwickelt und ein Patent wurde erteilt. Die Grundsatzuntersuchungen zu Baustoffen auf Gelbasis wurden weitergeführt und in situ Versuchskonzeptionen wurden dazu bis zur Anwendungsreife entwickelt. Mittelmaßstäbliche Labor-Langzeitversuche mit Materialien für kieserit- und tachhydritstabile Vorbauelemente wurden zur Verifizierung der theoretischen und kleinmaßstäblichen Versuchsergebnisse begonnen und erste Ergebnisse in Bezug auf die großmaßstäbliche in situ Anwendung gewonnen.
- AP7 Da die Herstellung der Arbeitsbedingungen an den eigentlichen Versuchsstandorten noch nicht abgeschlossen werden konnten, wurden an Ersatzstandorten wesentliche Untersuchungen an Abdichtungsmaterialien durchgeführt und Testmethoden weiterentwickelt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die weiteren Arbeiten orientieren sich an den konzipierten Arbeitspaketen AP1 bis AP11, wobei nach der Auswahl und Charakterisierung des Versuchs- und Einbaustandortes deren logistische Vorbereitung im Vordergrund steht. Parallel dazu werden die in situ Untersuchungen an Ersatzstandorten, die Arbeiten an der Mess- und Überwachungskonzeption sowie an der rechnerischen Modellierung von Einzelelementen und am Gesamtbauwerk fortgesetzt (1. Etappe: Großversuch GV1). Wesentliches Element wird die Zusammenfassung und Überprüfung des Gesamtstandes im Hinblick auf den 1. Meilenstein zum Vorhaben (07/06) sein.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Im Oktober 2005 wurde anlässlich eines vom Projektträger veranstalteten Fachgespräches der erreichte Stand im Vorhaben 02C0942 und die inhaltlichen Planungen zu laufenden Vorhaben zur Diskussion gestellt (5 Vorträge zum Vorhaben). Ein Berichtsband zum Vorhaben 02C0942 wurde veröffentlicht. Weitere Veröffentlichungen: Kali und Steinsalz, H.2/2005, S.16-25, Patent 102005009036 erteilt; Publikation zum thermischen Verhalten von Tachhydrit (im Druck)

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1214</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar - Hauptprojekt                                    |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2005 bis 31.01.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>494.772,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Rezepturenentwicklungen zu den lastabtragenden Systemen wurden weitergeführt. Gegenwärtig stehen 3 Rezepturen zur Verfügung, die in Hinblick auf die rheologischen Eigenschaften, die einaxiale Druckfestigkeit, die Permeabilität und das Quellverhalten die Zielwerte erreichen.

Untersuchungsergebnisse zur Steifigkeit (Kompaktionsstatus) liegen für ein System vor. Es konnte gezeigt werden, dass die Weiterentwicklung der Magnesiabindersysteme erfolgreich verläuft. Das Ersatzkompaktionsmodul für die neue Rezeptur liegt bei  $K_{\text{ersatz}} = 1,3$  GPa (im Vergleich: Ausgangsrezeptur  $K_{\text{ersatz}} < 0,05$  GPa). Die interne Zielstellung  $K_{\text{ersatz}} = 1 - 2$  GPa wurde erreicht.

Angestrebt wird jedoch ein Ersatzkompaktionsmodul von 2 GPa, um die Steifigkeit auch unter In-situ-Bedingungen gewährleisten zu können.

Diese Zielstellung soll in erster Linie durch Senkung der Porosität der Systeme, z.Z. etwa 18 %, erreicht werden. Dazu laufen Untersuchungen mit oberflächenaktiven Substanzen.

Als körnige Komponente wurden Steinsalz und Quarzsand verwendet, die durch Mehlkorn (Quarz, Anhydrit oder Dolomit) ergänzt wurden. Die einaxialen Druckfestigkeiten (28 d-Werte) liegen im Bereich von 60 – 75 MPa. Die Rezepturen sind unter Laborbedingungen > 2 Stunden verpumpbar und auf einen Fließwinkel  $\leq 3$  Gr. eingestellt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss der Optimierungsarbeiten an der Körnung und der Art der Füllstoffe, Bereitstellung von Prüfkörpern zur Messung des Kompaktionsverhaltens, Vertiefung der Datenbasis beim Einsatz von Verflüssigern und Abbindeverzögerern, Vertiefung der Untersuchungen zum Quellverhalten (AP 2).

Vorbereitung AP 6 – kleintechnische Versuchseinrichtung.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Str. 8,<br>99423 Weimar   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1224</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2005 bis 31.01.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>143.886,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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**

Der Skaleneffekt der Säulenversuche wurde durch die Berücksichtigung unterschiedlicher Umgebungsbedingungen und Versuchskörpergeometrien quantifiziert. Dazu wurden Versuche in einer Klimakammer unter Variation der Temperatur und relativen Feuchte durchgeführt. Die Auswertung bezieht sich auf den entwickelnden Quelldruck und die Temperatur. Zusätzlich wurde die Porengrößenverteilung des abgebundenen Baustoffs mittels Quecksilber - Porosimetrie untersucht.

Erste Ergebnisse von Versuchen zur Ermittlung der Druckfestigkeit liegen im angestrebten Bereich der Festigkeitswerte.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im Rahmen der Weiterentwicklung der Magnesiabinder werden prinzipiell folgende weitere Untersuchungen zur konstitutiven Beschreibung der optimierten Rezeptur durchgeführt:

1. Aufsättigungs- und Trocknungsverhalten
3. Kompressibilität unter Berücksichtigung der Beanspruchung mit Lauge (Einfluss der Belastungsrichtung)
4. Zuarbeit zu den Technikumsversuchen

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60,<br>04279 Leipzig  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1234</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten                                 |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2005 bis 31.01.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>183.188,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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-UTEC)

AP2: Untersuchungen zur Beeinflussung des Quellverhaltens (K-UTEC)

AP3: Modellhafte Untersuchungen (Bauhausuniversität)

AP4: Strukturuntersuchungen (Bauhausuniversität)

**AP5:** Untersuchungen der mechanischen Anforderungen und Eigenschaften eines Dichtele-  
ments (**IfG**)

AP6: Erprobung optimierter Systeme in einer kleintechnischen Versuchseinrichtung (K-  
UTE C)

**AP7:** Versuchsauswertung, Abschlussbericht (alle Verbundpartner)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten konzentrierten sich auf die Ableitung der geomechanischen Entwicklungszielstellung für ein Dichtelement im Salinar. Dazu wurden die im vergangenen Halbjahr durchgeführten gekoppelten mechanisch-hydraulischen numerischen Berechnungen vertieft und die Ergebnisse in dem unter 5. aufgeführten Zwischenbericht zusammengestellt.

Bei den numerischen Berechnungen wurden die wesentlichen Verformungs- und Festigkeitsparameter des zu entwickelnden Baustoffs sowie die des Wirtsgesteins variiert. Aus den Berechnungsergebnissen wurden Zielgrößen für diese Parameter des Baustoffs abgeleitet.

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Baustoff mit einem möglichst großen Verformungsmodul in der Größenordnung des anstehenden Salinars ein günstiges Tragverhalten eines Dichtelementes bewirkt. Jedoch sind der Baustoffentwicklung hinsichtlich dieser Zielstellung Grenzen gesetzt, da auch andere Faktoren, wie z.B. die Verarbeitbarkeit, zu berücksichtigen sind. Um beiden Aspekten gerecht zu werden, wird als Entwicklungszielstellung für den Verformungsmodul (unter In-situ-Belastungsgeschwindigkeiten) ein Wert von 1 bis 2 GPa formuliert.

Ausgehend von der Rezeptur 29.6 (Barrierensystem Asse) wurde vom Verbundpartner K-UTEC eine Weiterentwicklung des Barrierenbaustoffs vorgenommen und die 3 folgenden Rezeptursysteme hinsichtlich der Zielstellungen zum Materialverhalten als Erfolg versprechend eingestuft.

Rezeptur 1: Standart-MgO, Quarzsand, Quarzmehl, Anmachflüssigkeit S 30-Lösung

Rezeptur 2: Standart-MgO, Quarzsand, Dolomitsteinmehl, Anmachflüssigkeit S 30-Lösung

Rezeptur 3: Standart-MgO, Steinsalz, Anhydritmehl, Anmachflüssigkeit S 30-Lösung

Dem IfG wurden Proben der Rezeptur 1 für Laboruntersuchungen zur Verfügung gestellt. Der Magnesiabinder wurde hinsichtlich seiner Steifigkeit und seiner physikalischen Eigenschaften untersucht. Gegenüber der Rezeptur 29.6 (Barrierensystem Asse) zeigt die Rezeptur 1 ein deutlich günstigeres Spannungs-Verformungsverhalten (höhere Steifigkeit). In modellhaften Berechnungen des Ersatzkompaktionsmoduls wurde ein Wert von 1,3 GPa (Zielgröße 1 bis 2 GPa) ermittelt. Die Porosität der Proben der Rezeptur 1 beträgt ca. 18 % und die Sättigung mit Lauge ca. 95 %.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Zur Zeit werden beim Verbundpartner K-UTEC Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, die Porosität des Magnesiabinders der 3 oben aufgeführten Rezepturen zu senken und damit die Materialsteifigkeit weiter zu erhöhen. Anfang Februar werden dem IfG optimierte Proben der Rezepturen 1-3 zur Verfügung gestellt, die hinsichtlich ihres Spannungs-Verformungsverhaltens und ihrer physikalischen Eigenschaften untersucht werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Weise, D.; Salzer, K.: Untersuchung der mechanischen Anforderungen und Eigenschaften eines Dichtelements auf Basis eines Magnesiabindersystems, IfG, 04.10.05

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1244</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Prognose der Redoxeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2005 bis 31.03.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>759.166,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 liegen nun Messungen zur Abhängigkeit des Elektrodensignals von Einstab-pH-Elektroden in Abhängigkeit von der Hintergrundsalkonzentration vor. Untersucht wurden die Systeme NaCl-H<sub>2</sub>O, KCl-H<sub>2</sub>O und MgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. In allen Fällen tritt ein konzentrationsabhängiges Zusatzpotential auf, das sich durch eine quadratische Gleichung mit ausreichender Übereinstimmung wiedergeben lässt. Besonders stark ist dieses Signal bei konzentrierten Magnesiumchloridlösungen. Hier „täuscht“ die Messspannung einen pH-Wert vor, der um zwei Einheiten

über dem logarithmierten Wasserstoffkonzentration ( $-\log c_H$ ) liegt. Weitere Messungen werden dazu dienen, den mathematischen Zusammenhang noch genauer zu beleuchten. Auch werden separate Messungen für basische und saure pH-Bereich durchgeführt.

Darüber hinaus wurde Messungen an eisen(III)chloridhaltigen Lösungen vorgenommen, um die Chlorokomplexbildung in konzentrierten Chloridlösungen besser aufzuklären. Eine Auswertung der Versuche steht noch bevor.

### 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><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1254</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2005 bis 30.09.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>653.021,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

- Umschlüsselung des Anhangs C der TA Abfall auf EAK und AVV zur Identifizierung aktueller UTD-relevanter Abfallarten
- Entwicklung eines Abfallauswahlverfahrens unter Berücksichtigung vorhabensrelevanter Elementgehalte und der UTD-Relevanz der Abfälle
- Homogenisierung und Elementanalytik der ausgewählten Abfälle
- Erstellung einer „Standard Operation Procedure“ für die Versuchsserien unter aeroben und anaeroben Versuchsbedingungen
- Konditionierung von Abfällen und Fluiden entsprechend SOP und Durchführung der Elutionsserien unter aeroben und anaeroben Versuchsbedingungen
- Zur Simulation der Abfälle unter anaeroben Bedingungen (z.B. einer UTD) ist mittels GC/MS-Screening und BSB5-Untersuchungen zusätzlich ermittelt worden, ob diese Abfälle einem mikrobiellen Sauerstoffverbrauch unterliegen oder sie aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung entweder keinen Substratcharakter oder bakteri-entoxische Eigenschaften besitzen

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

- Beschaffung, Test und Inbetriebnahme der Laser-Ablations-Apparatur
- Detailverhandlungen mit der TU-Braunschweig zu Art und Umfang einer Promotionsstelle im Rahmen dieses Vorhabens (in Kombination mit dem Vorhaben Redoxprognose)

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### AP1: - Analytik der Eluate 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><br>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60,<br>04279 Leipzig   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 C 1264</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salinarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien                    |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2008  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>627.883,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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: Basierend auf einer Analyse des Kenntnisstandes über die Modellierung von Schädigungsphänomenen erfolgte die Festlegung der Entwicklungsarbeiten zur Erweiterung des im Vorhaben 02C0264 entwickelten visko-elasto-plastischen Stoffmodells für Salinargesteine zu einem nicht-lokalen Modell.
- AP 2: Befahrung der seit Juni 2005 durchschlägigen Wetterverbindung zwischen dem Grubenfeld Angersdorf und Teutschenthal und Festlegung der Bohransatzpunkte für die In-situ-Untersuchungen und Probengewinnung.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP 1 Entwicklung einer FISH-Funktion für die Implementierung eines nicht-lokalen Ansatzes für das visko-elasto-plastische Stoffmodell.
- AP 2 Herstellung von 10 Sondierungsbohrungen im Leine-Steinsalz und Durchführung von Frac-Messungen.

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a,<br>38678 Clausthal-Zellerfeld   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1275</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.05.2005 bis 30.04.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>257.176,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 20.11.2005 wurden erste Erfahrungen mit der Prüfkörperherstellung mit SVV besprochen. Da die Materialeigenschaften stark von den Herstellungsbedingungen abhängen, wurden Rahmenbedingungen definiert, um Prüfkörper mit konstanter Qualität herstellen zu können. Aufgrund Temperatur bedingter Phasenumwandlung unterscheidet sich das Materialverhalten bei einer Temperatur von  $T=80^{\circ}\text{C}$  komplett von dem bei  $T=25^{\circ}\text{C}$ . Da die Phasenumwandlungen nach dem Aushärtungsprozess bei einer Temperatur von  $T=80^{\circ}\text{C}$  äußerst unwahrscheinlich sind, wurde beschlossen, keine Messungen bei so hoher Temperatur durchzuführen. Anstelle dieser Messungen wird die Versuchsanzahl bei  $T=25^{\circ}\text{C}$  erhöht, um die Streuung zu verringern und den Einfluss der Aushärtungszeit abschätzen zu können. Zusätzlich werden noch Messungen an Prüfkörpern durchgeführt, die mit IP21-Lösung statt NaCl-Lösung hergestellt wurden, da diese in der Praxis häufiger relevant sind.

Bei einem zweiten Treffen aller drei Projektpartner am 19. und 20.12.2005 hat sich ergeben, dass der Aushärteprozess deutlich länger dauert als geplant. Somit dauert die Herstellung eines Prüfkörpers bei der GRS Braunschweig etwa 1,5 Monate. Um in Zukunft die Laborversuche nicht weiter durch die Prüfkörperherstellung zu verzögern, soll versucht werden, nach den ersten Versuchen die Prüfkörperherstellung zu beschleunigen (z.B. durch Parallelisierung oder durch Bohrkernentnahme aus Großversuchen).

Ferner wurde bei dem Treffen von GRS die Einbindung von CHEMAPP in EQLINK und die Ausführung von EQLINK erläutert. Auf dieser Grundlage wurde mit der Einbindung von CHEMAPP in MISES III begonnen.

Die für das Teilprojekt TUC vorgesehene Stelle (BAT IIa) konnte trotz Ausschreibung im Mai 2005 erst zum 1. Oktober 2005 besetzt werden, wodurch sich weitere Verzögerungen ergaben. Die Einarbeitung des neuen Mitarbeiters ist noch nicht abgeschlossen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Halbjahr 2006 werden Kurzzeitversuche an ausgehärteten SVV-Vollprüfkörpern (AP1), Kompressionsversuche unter isostatischen Dauerbelastungen (AP2) sowie Kriechversuche bei einem konstanten Manteldruck von  $\sigma_3 = 5 \text{ MPa}$  (AP3) durchgeführt, wobei nur Kurzzeitversuche bis Ende 2006 komplett fertig sein werden. Außerdem wird die Einbindung des geochemischen Programms CHEMAPP über EQLINK in das Programm MISES III durchgeführt und angetestet.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Hou, Z. (2005): Numerische Untersuchungen zum hydraulischen und mechanischen Verhalten eines selbstverheilenden Salzversatzes. Bericht der Professur für Deponietechnik und Geomechanik der TU Clausthal, unveröffentlicht.

|   |   |
|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1285</b>         |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt GRS: Laborversuche und Geochemische Modellierung                                     |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.05.2005 bis 30.04.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>535.615,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

- AP 1.3: Nach erfolgreichen Vorversuchen wurde eine spezielle Messzelle in Auftrag gegeben und angefertigt. Ein erster Versuch mit SVV wurde begonnen, der Prüfkörper an TUC überführt.
- AP 2.1: Versuche zum Einfluss der Ionenstärke und des Ionenaustausches auf den Quelldruck wurden begonnen.
- AP 3.1 + 3.3: Es wurde begonnen, EQLINK in die Programmiersprache C++ umzuschreiben, um eine bessere Anbindung an ROCKFLOW zu ermöglichen. Der Funktionsumfang von EQLINK wird dabei an die Erfordernisse von ROCKFLOW angepasst.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP 1.3: Die Probenherstellung für TUC wird fortgesetzt.
- AP 3.1 + 3.3: Diese Versuche werden fortgesetzt.
- AP 3.2: dieser Versuch befindet sich derzeit in Vorbereitung.
- AP 3.1: Im kommenden Halbjahr wird EQLINK in C++ umgeschrieben werden. Testrechnungen werden unter Zugrundelegung der Datenbasis von PSI/NAGRA durchgeführt werden, da hierdurch ein direkter Vergleich, insbesondere ein Leistungsvergleich mit dem ebenfalls in ROCKFLOW eingekoppelten PHREEQC stattfinden kann.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstr. 7,<br>72074 Tübingen   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1295</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien                      |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.05.2005 bis 30.04.2008  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>233.598,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Kolditz            |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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. Der Reaktionsablauf hängt aber vor allem auch davon ab, wie schnell oder langsam die Migration von Salzlösungen in die Probe erfolgt und damit das chemische Lösungsgleichgewicht beeinflusst wird. Daher sind die chemischen Prozesse stets im Zusammenhang mit den einhergehenden Transportvorgängen zu sehen.

**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 Chem-App 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 wurden intensive Vergleiche geochemischer Simulatoren ChemApp und GEMS durchgeführt. Mit der Implementierung der Schnittstellen wurde bereits begonnen.

- Besuche und intensive Gespräche am Paul-Scherrer-Institute (PSI), Schweiz über die Details des thermodynamischen geochemischen Simulators GEMS. Eine langfristige Kooperation wurde vereinbart zur Kopplung chemischer Programme mit Wärme- und Massentransportmodellen.
- Intensive Gespräche mit den Projektpartnern über den thermodynamischen chemischen Simulator ChemApp und entsprechender Erfahrungsaustausch.
- Beschaffung der Software ChemApp von GTT-Technologie Co.
- Durchführung eines Projekttreffens am ZAG Tübingen zur gemeinsamen Verfeinerung der technischen Aspekte bei der Programmentwicklung. EQLink wird derzeit in FORTRAN entwickelt, GeoSys/RockFlow hingegen in C/C++ mit Objekt-Orientierung. Nach den ersten Versuchen zur direkten Einbindung von EQLink in GeoSys/RockFlow wurde festgestellt, dass dies technisch zwar möglich ist, jedoch längerfristig nicht effizient ist. Deshalb wurde es entschieden, eine neue Schnittstelle in C++ der Basis von EQLink zu entwickeln.

**4. Geplante Weiterarbeiten**

- Weitere Programmentwicklung der Schnittstelle zwischen GeoSys/RockFlow und ChemApp in C++ mit objekt-orientierten Konzepten (Analog zur bereits realisierten PhreeqC-Schnittstelle) realisieren [Kooperation mit GRS]
- Validierung von RockFlow/ChemApp durch Literaturbeispiel sowie anderen Codes (im Rahmen des DECOVALEX Projekts)
- Weiterentwicklung des Mechanikmoduls zur Verbesserung der Schwelldruckberechnungen.

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

Xie M, Moog H, Herbert und Kolditz O (2006) Experiment on and Numerical Simulation of Geochemical Effects on Bentonite Swelling, abstract, GeoProc2006 - the 2006 International Conference on Coupled T-H-M-C Processes in Geosystems: Fundamentals, Modelling, Experiments and Applications, May 22-24, Nanjing, China (accepted)

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).

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Leipzig, Ritterstr. 26, 04109 Leipzig  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1305</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.06.2005 bis 31.05.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>579.486,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Computermodellierungen 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**

In Kooperation mit den Projektpartnern wurden die Bergwerksstandorte Teutschenthal-Angersdorf und Sollstedt als Referenzstandorte ausgewählt. Absprachen mit den zuständigen Bergwerksbetreibern bezüglich der Anforderungen an das Werk und der Termine für die Durchführung von Messungen finden zurzeit statt.

Am Referenzstandort Sigmundshall wurde in einer neuen Messkampagne der vorhandene seismische Datensatz um ein neues Messprofil erweitert, so dass jetzt das gemeinsame Referenzprofil vollständig überdeckt ist. Am neuen Referenzstandort Teutschenthal-Angersdorf wurde mit geoelektrischen Messungen begonnen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Auswertung der seismischen Messungen am Standort Sigmundshall
- Auswertung der geoelektrischen Messungen am Standort Teutschenthal-Angersdorf
- Durchführung geoelektrischer und seismischer Messungen an den neuen Referenzstandorten Teutschenthal-Angersdorf und Sollstedt
- Entnahme von Gesteinsproben an den neuen Referenzstandorten für Laboruntersuchungen (Bestimmung petrophysikalischer Parameter)
- Numerische FEM-Modellierungen geoelektrischer Untertage-Messungen

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA),<br>Stilleweg 2, 30655 Hannover  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1315</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.06.2005 bis 31.05.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>340.080,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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**

In Kooperation mit den Projektpartnern wurden die Bergwerksstandorte Teutschenthal-Angersdorf und Sollstedt als Referenzstandorte ausgewählt. Absprachen mit den zuständigen Bergwerksbetreibern bezüglich der Anforderungen an das Werk und der Termine für die Durchführung von Messungen finden zurzeit statt. Ein Wissenschaftler wurde eingestellt, er hat sich in die Thematik und den Umgang mit den Messgeräten eingearbeitet. Die Auswahl eines zweiten Wissenschaftlers für das Projekt gestaltet sich schwierig, die Stelle ist gerade zum zweiten Mal ausgeschrieben worden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Durchführung elektromagnetischer und Georadar-Messungen an den beiden Referenzstandorten
- Entnahme von Gesteinsproben an neuen Referenzstandorten für Laboruntersuchungen (Bestimmung petrophysikalischer Parameter)
- Auswertung der elektromagnetischen und Georadar-Messungen im Hinblick auf Problemzonenortung
- Geostatistische Auswertung der Ergebnisse aller geophysikalischen Messungen

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastr. 27 c, 80686 München  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1325</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteeinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt FhG: Sonarverfahren |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten       |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.06.2005 bis 31.05.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>477.455,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Kooperation mit den Projektpartnern wurden die Bergwerksstandorte Teutschenthal-Angersdorf und Sollstedt als Referenzstandorte ausgewählt. Im Rahmen von Befahrungen dieser Gruben erfolgte die Festlegung von Messlokationen für die geophysikalische Erkundung spezifischer Problemzonen der geologischen Barriere um die Grubenhohlräume.
- Arbeitspunkt 2:* Es wurden Bohrloch-Ultraschallsonden konstruiert mit entsprechenden Sondentests begonnen.
- Arbeitspunkt 3:* Die Hardwarekonfektionierung und Softwareentwicklung für ein bergbau-taugliches 16-kanaliges Ultraschall-Messsystem ist bis zum Aufbau eines Testmusters fortgeschritten.
- Arbeitspunkt 4:* Vom 3.11. bis 6.11. 2005 erfolgten am Messort Sigmundshall in der We-  
ser-Wetterstrecke auf dem Profilabschnitt von +38 m bis +184 m ergän-  
zende Sonar-Messungen zur Vervollständigung des geophysikalischen Re-  
ferenzdatensatzes.
- Arbeitspunkt 5:* Das SAFT-Rekonstruktionsverfahren wurde weiterentwickelt, um die der  
komplizierten Lagerungsverhältnisse in Sigmundshall, mit starken latera-  
len Änderungen der physikalischen Einflussgrößen, erfassen zu können.
- Arbeitspunkt 6:* Die ergänzenden Messungen am Messort Sigmundshall wurden unter Ein-  
beziehung der im Ausgangsvorhaben gewonnenen Daten prozessiert. Mit  
der optimierten Messtechnik und neuen Auswerterroutinen konnten im Tie-  
fenbereich bis zu ca. 100 m Entfernung vom Stoß hochauflösende Infor-  
mationen über geomechanische Parameter erhalten werden.
- Arbeitspunkt 7:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im Frühjahr 2006 sollen die Sonaruntersuchungen in den Gruben Teutschenthal-Angersdorf und Sollstedt erfolgen. Die neuen Standorttypen sollen die Verallgemeinerbarkeit des integ-rierten geophysikalischen Mess- und Auswerteinstrumentariums gewährleisten. Die Entwicklung hochempfindlicher niederfrequenter Ultraschallaufnehmer und des bergbau-tauglichen 16-kanaligen Sonar-Messsystems wird fortgesetzt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

|   |   |
|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1335</b>         |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Qualifizierung von Strömungsbarrieren in Salzformationen, Phase 1 bis Phase 4   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.06.2005 bis 30.11.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>909.286,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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

Zwischen den experimentellen Arbeiten in den Vorhaben 02 C 1335 (SVV-2) und 02 C 1285 (CHM) wurde eine enge Abstimmung der Laborarbeiten im Hinblick auf die Herstellung der SVV-Probenkörper und die zu messenden Parameter vorgenommen. Damit wird sichergestellt, dass die Menge experimenteller Daten, auf die sich die CHM-Modellierung des SVV später stützen kann, möglichst groß ist.

Insgesamt wurden acht Laborversuche mit SVV in kleinen Druckzellen durchgeführt, vier mit IP21-Lösung und vier mit einer  $\text{MgCl}_2$ - $\text{CaCl}_2$ -reichen Carnallit-Tachydrit-gesättigten Lösung. In sechs Versuchen wurden in das SVV-Material ( $\text{MgSO}_4$ -wasserfrei) auch tachydrithaltige Gesteinsbrocken eingebracht, um festzustellen, ob die Abdichtung von Tachydritgesteinen auch möglich ist. Alle diese Versuche haben zu positiven Ergebnissen geführt. Tachydrit wurde in keinem Fall weggelöst. In den Versuchen mit IP21-Lösung wurde der Tachydrit zwar angelöst, aber nur in geringen Umfang. Sobald die eingedrungene Lösung aufgebraucht war, wurde der restliche Tachydrit fest eingeschlossen. In den Versuchen mit  $\text{MgCl}_2$ - $\text{CaCl}_2$ -Lösungen kam es erst gar nicht zur Tachydritauflösung, sondern zum sofortigen festen Einschluss. Die Versuche mit  $\text{MgCl}_2$ - $\text{CaCl}_2$ -Lösung haben zu deutlich niedrigeren Permeabilitäten,  $3 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$ , geführt als die mit IP21-Lösung, die nur Werte von  $10^{-15}$  bis  $10^{-16} \text{ m}^2$  ergaben. Die niedrigeren Permeabilitäten mit IP21-Lösung sind wahrscheinlich auf die Anlösung der Tachydritbrocken zurückzuführen. Darauf deuten auch die etwas niedrigeren Kristallisationsdrucke hin. 30 bis 40 bar Kristallisationsdruck wurde mit IP21 und ca. 70 bar mit  $\text{MgCl}_2$ - $\text{CaCl}_2$ -Lösung erreicht.

Die mit Druck- und Temperaturfühlern bestückten Druckrohre für die Technikumsversuche wurden hergestellt, TÜV-geprüft und angeliefert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fortführung der Laborversuche mit IP21-Lösung,  $\text{NaCl}$ -Lösung und  $\text{CaCl}_2$ - $\text{MgCl}_2$ -reicher Lösungen.

Bestimmung des resultierenden Mineralbestandes, des Kristallisationsdruckes, der Permeabilität und mechanischer Parameter.

Festlegung der Randbedingungen für die Versuche im Technikumsmaßstab, Beschaffung der noch fehlenden Komponenten für diese Versuche und Beginn der Versuchsdurchführung.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Herbert, H.-J. und Kull, H. (2005): Selbstverheilender Salzversatz (SVV) - Ein arteigener Baustoff für Abdichtungen im Salzbergbau – Tagungsband, Altbergbaukolloquium 3.–5. Nov. 2005, Clausthal-Zellerfeld, 20S.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Merzhauser<br>Straße 173, 79100 Freiburg   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 C 1345</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle                             |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2005 bis 31.01.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.08.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>253.485,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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**

Die in AP1 vorgesehene Auswahl der Abfallarten wurde mit einer umfangreichen Liste der potenziell in Frage kommenden Abfallarten begonnen. Diese wurden in einer Veranstaltung mit Vertretern der für Abfall und Entsorgung zuständigen Ministerien/Bundesämtern, Verbandsvertretern der Entsorgungswirtschaft und mit weiteren Fachleuten diskutiert und entsprechend der eingegangenen Anregungen ergänzt.

Die für die Abfallauswahl in AP3 erforderlichen Mengenangaben zu den Abfällen und insbesondere den Entsorgungswegen wurden in einer ersten Näherung aus vorhandenen Daten zusammengestellt und auf Vollständigkeit/Plausibilität geprüft. Dabei hat sich heraus gestellt, dass insbesondere die Angaben zu aktuellen Entsorgungswegen umfangreicher Zusatzrecherchen bedürfen, da die Daten bisher bei den Akteuren nicht für die hier zu bearbeitende Aufgabenstellung systematisch aufbereitet vorliegen. Diese Nachrecherchen bei verschiedenen Länderbehörden und Betreibern von Entsorgungsanlagen sind noch im Gange, mit rechtzeitigem Eingang der Daten in den nächsten Wochen wird gerechnet. AP1 wurde damit im Berichtszeitraum wie geplant im Wesentlichen abgeschlossen, in geringem Umfang sind bei der Auswertung noch Restarbeiten zu tätigen.

Die Arbeiten für das AP2 wurden im Berichtszeitraum plangemäß aufgenommen. Erste Ergebnisse lagen im Berichtszeitraum noch nicht vor.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Restarbeiten zu AP1 werden wie beschrieben durchgeführt, die Mengenstromanalysen entsprechend bei Eingang weiterer Daten ergänzt.

Die Arbeiten zu AP2 werden fortgeführt und voraussichtlich bis Ende März planmäßig abgeschlossen werden.

Die Arbeiten zum AP3 wurden im Januar 2006 plangemäß aufgenommen, mit ersten Entwürfen ist bis Ende Februar 2006 zu rechnen. Der Abschluss ist bis Ende März 2006 vorgesehen und zu erwarten.

Die Arbeiten zu AP4 werden aus heutiger Sicht plangemäß im März 2006 aufgenommen werden können.

Die Besprechung wesentlicher Zwischenergebnisse mit verschiedenen Beteiligten hat sich bewährt, für 2006 ist mindestens eine weitere Veranstaltung dieser Art vorgesehen.

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

Entwurfsvorlagen und Protokoll der Besprechung der Abfallliste sowie die Gesamtliste der Abfallarten wurden fertig gestellt und allen Teilnehmern der Beratung verfügbar gemacht. Weitere Berichte und Veröffentlichungen liegen im Berichtszeitraum noch nicht vor.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a,<br>38678 Clausthal-Zellerfeld   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1355</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.09.2005 bis 31.08.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.09.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>581.000,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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, Versuche mit trockenem und feuchtem Gas sind in der Vorbereitung, ebenso Versuche mit Lauge.
- 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.
- 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.
- 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><br>Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut,<br>Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1395</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten               |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2005 bis 31.12.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.10.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>615.337,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 präferierten MgO-Typen
- Nachweis der Eigenschaften der Systeme
- Untersuchungen zur Wärmefreisetzung und zur Aussteuerung der Wärmefreisetzung
- Untersuchung zur Festigkeit in Abhängigkeit vom Durchfeuchtungszustand der Probe

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

Innerhalb des Arbeitspaketes 2 wurde im Berichtszeitraum die Aktualisierung der Literatur vorgenommen und Vorbereitungen für die Rezepturenentwicklung getroffen.

Auf dem Gebiet der Magnesiumoxisulfat-Systeme konnten nur wenige verwertbare Literaturstellen ermittelt werden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Rezepturenentwicklung bildet in 2006 den Schwerpunkt der Arbeiten.

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a,<br>38678 Clausthal-Zellerfeld   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1405</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten               |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2005 bis 31.12.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.10.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>330.406,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 Berichtszeitraumes erfolgte die Einarbeitung in das Themengebiet durch eine umfangreiche Literaturstudie. Anfang November fand ein erstes Projektpartnertreffen statt, mit dem Ziel der Projektkoordination, um einen optimalen Ablauf der einzelnen Projektphasen zu gewährleisten.

Weiterhin wurde begonnen die Triaxialzelle, am Institut für Bergbau, vom manuellen auf den automatisierten Betrieb umzurüsten. Dabei werden die Drücke der Hydraulik und Pneumatik-Seite über ein rechnergesteuertes System an Proportional-Druckregelventile geführt, so dass Genauigkeiten von  $\pm 1$  bar eingehalten werden können. Diese Drücke werden datenmäßig erfasst, mit einem Programm (DASY-Lab) verarbeitet und über Digital/Analog Wandlerkarte an die Servoventile weitergegeben.

Des Weiteren erfolgte eine Marktanalyse über die verschiedenen Rohstoffanbieter auf dem MgO-Sektor.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im nächsten Berichtszeitraum soll die Triaxialzelle vollständig automatisiert sein. Es soll dann in Vorversuchen die Funktionsfähigkeit der Triaxialzelle geprüft werden. Als Grundlage für die Vorversuche werden Magnesiabinderrezepturen aus der Dissertation von Herrn Dr.-Ing. Holger Seiz verwendet, auf deren Basis die Rohstoffauswahl und Mischungszusammensetzung erfolgt.

Weiterhin sollen erste geomechanische Untersuchungen an den durch die Verbundpartner weiterentwickelten Magnesiabindersystemen auf Alkali-Phosphat- und Oxysulfat-Basis erfolgen. Dabei stehen Untersuchungen der Baustoffe auf ihr Verhalten im salinaren Milieu, d.h. Festigkeit, sowie Laugenresistenz und Durchlässigkeit im Vordergrund. Aufgrund dieser Ergebnisse soll eine Teilauswahl vorgenommen werden und die entsprechenden Systeme in die nächste Phase der Untersuchungen eingebunden werden.

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

Keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a,<br>38678 Clausthal-Zellerfeld   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 1415</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheits Gesichtspunkten              |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2005 bis 31.12.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.10.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>290.000,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1\*: Grundlagenuntersuchungen an Magnesiabinder-Alkali-Phosphat-Baustoffen
- AP2: Grundlagenuntersuchungen an Magnesiabinder-Oxisulfat-Baustoffen
- AP3\*: Gefügeuntersuchungen an beiden Systemen
- AP4: Eigenschaften der Baustoffe unter geomechanischen Gesichtspunkten
- AP5: Handhabungsversuche

AP6: Erprobung optimierter Systeme in einer kleintechnischen Versuchsanlage

AP7\*: Versuchsauswertung, Abschlussbericht, Verwertungsplan

\* unter Mitarbeit von INW, TUC

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

Im Berichtszeitraum wurden folgende Arbeiten zu AP1 ausgeführt:

- die Literaturrecherche wird durchgeführt
- die Brennversuche mit Magnesit zur Reaktivitätseinstellung des MgO haben begonnen
- die Kompatibilitätsuntersuchungen des Magnesia-Phosphatsystems mit Steinsalz sind angelaufen.

Erste Ergebnisse zeigen, dass eine Erhärtung auch mit gesättigter Steinsalzlauge als Anmachflüssigkeit aussichtsreich ist. Zudem kann unter Umständen auf den Einsatz eines Verzögerungsmittels verzichtet werden.

Die Beschaffung des Kalorimeters ist vorgenommen worden. Die planmäßige Lieferung soll Anfang Februar erfolgen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- neben der Verfeinerung der Rezeptur von Dr.-Ing. Seiz auf Magnesiumoxychloridbasis werden weitere Magnesiabindemittelvariationen untersucht.
- bei den Rezepturen ist die Abstimmung der Komponenten hinsichtlich Art, Kornverteilung und Reaktivität durchzuführen.
- eine Modifikation der Anmachflüssigkeit (verschiedene Laugen) ist mit den Feststoffkomponenten abzustimmen und zu optimieren.
- die Inbetriebnahme des Mehrkanalkalorimeters soll Anfang Februar erfolgen. 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><br>FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 W 6232</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen       |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.06.2002 bis 30.09.2005   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 30.09.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>344.241,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Stein                    |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Forschungszentrum Jülich hat eine langjährige Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für auswärtige Politik (DGAP) und hat dazu eine interdisziplinäre Projektgruppe eingerichtet, die sich dem Themenkreis „Internationale Kontrolle sensitive Technologien und Materialien“ widmet. Ein Schwerpunkt der Aktivitäten liegt bei der nuklearen Verifikation und Nichtverbreitungspolitik.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe besteht aus Mitgliedern der Bereiche Politik, Medien, Wirtschaft und Wissenschaft. Sie ist somit von aktueller Themenlage bestimmt. Im einzelnen orientiert sich die Gruppe an Problemen aus folgenden Bereichen:

- Internationale Kontrolle sensitiver Technologien
- Nichtverbreitung von Kernwaffen
- Internationale Entwicklung der Kernenergie
- Internationaler Terrorismus.

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

Am 12.09. fand in Berlin bei der DGAP eine Projektgruppensitzung statt, auf der folgende Themen behandelt wurden:

- Rechte, Pflichten und Handlungsspielräume des Weltsicherheitsrates bei der Sanktionierung des Atomwaffensperrvertrages
- Biowaffenkontrolle zwischen Reden und Handeln: gemeinsame Probleme, divergente Interessen, unterschiedliche Strategien
- Technikkontrolle jenseits der Nichtverbreitungspolitik: Gefährdung und Sicherung kritischer Infrastrukturen im Informationszeitalter.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Bis Anfang 2006 wird eine Buchveröffentlichung im Springer-Verlag mit dem Arbeitstitel „Verifying Treaty Compliance“ fertiggestellt.

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

M. Stein, B. Richter, G. Stein; „New Challenges for IAEA Detection Capabilities: The Role of Technology“, Proc. 46<sup>th</sup> INMM Annual Meeting, Phoenix/USA, Juli 2005.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 W 6243</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen                         |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2003 bis 31.07.2007   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>769.798,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 BMWA, 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 BMWA, Euratom und IAEO.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Fernerkundung: Weiterentwicklung statistischer Änderungsdetektionsalgorithmen; Untersuchung alternativer Iterationsverfahren; Charakterisierung von Forschungsreaktoren und Kraftwerken; objektorientierte Bildanalyse iranischer Brennstoffkreislauf-Anlagen; räumliche und temporale Ausweitung der Untersuchung auf das Gebiet Bushehr 2003 und Esfahan 2004; dabei verstärkte Entdeckung sensitiver Objekte sowie Implementierung von Schlüsselmerkmalen.

Geologische Endlagerung: Teilnahme am BfS-Workshop ‚Sicherheitstechnische Einzelfragen der Endlagerung‘.

ESARDA: Beginn der Erarbeitung einer Bewertungsmethode für Containment & Surveillance (C/S) Geräte; Organisation und Teilnahme am ESARDA-INMM Workshop ‚Changing the Safeguards Culture‘; Vorbereitung und Durchführung von Sitzungen der Arbeitsgruppen ‚C/S‘, ‚Integrated Safeguards‘ und ‚Verification Technologies and Methodologies‘ mit Vorträgen; Teilnahme an den Sitzungen von Steering Committee und Editorial Committee.

Zusatzprotokoll (ZP): Beginn der Erarbeitung eines erweiterten Meldesystems; Unterstützung der Betreiber bei der Aktualisierung von Deklarationen (Schulung mit der CAPE-Software); Unterstützung bei Aussprachen zwischen BMWi, Betreibern und Euratom; Unterstützung bei der Klärung von Rückfragen der IAEO.

Unattended Remote Monitoring and Measurement Systems: Vorbereitungen zum Workshop ‚Safeguards Tools for the Future‘, Teilnahme und Auswertung; Vorbereitungen zur Revision der IAEO-Bestrahlungstestprozeduren für elektronische Überwachungssysteme; Vorarbeiten zur Implementierung von Authentifizierung und Verschlüsselung im Digital Unattended Multi-channel Analyzer (DIUM).

Multinationalisierung: Erstellung einer Studie.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fernerkundung: Verbesserung von automatischen radiometrischen Normierungsverfahren durch iterative Algorithmen; objektorientierte Änderungsdetektion der iranischen Standorte Bandar Abbas, Arak und Natanz; Charakterisierung von Brennelementfabrikations-, Anreicherungs- und Wiederaufarbeitungsanlagen.

Geologische Endlagerung: Vorbereitung eines internationalen Expertentreffens.

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

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

S. Nussbaum, I. Niemeyer, M.J. Canty; „Feature Recognition in the Context of Automated Object-oriented Analysis of Remote Sensing Data Monitoring the Iranian Nuclear Sites“; Proc. SPIE Europe Symposium on Optics/Photonics in Security & Defence, Brügge, Belgien, 26-28 September 2005.

I. Niemeyer, S. Nussbaum, I. Lingenfelder; „Automated Analysis of Remote Sensing Data for Extensive Monitoring Tasks in the Context of Nuclear Safeguards“; Proc. of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'05, Seoul, Republik Korea, 25-29 July 2005.

B. Richter; „Internationale Kernmaterialüberwachung bei der Direkten Endlagerung“, Vortrag auf dem BfS-Workshop ‚Sicherheitstechnische Einzelfragen der Endlagerung‘, Hannover, 28.+29.09.05.



## **2.4 BMWi-Hausvorhaben**

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe,<br>Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>KWA 2003</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine  |   |  |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten |   |  |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2003 bis 31.12.2005   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.317.055,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>N.N.                         |  |

### 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 BMWA 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, FZK/INE, BGR)

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

(Vorhaben 02E9531, 02E9773, 02E9834, 02E9894, 02E9914, 02E10045, FZK/INE, BGR)

Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf experimentellen In-situ- und Labor-Untersuchungen sowie der Entwicklung numerischer Modelle zu Strömungs- und Transportprozessen sowie auf Untersuchungen zu Migration, Transport und Rückhaltung von kolloidalen und gelösten Radionuklidspezies in den technischen und natürlichen Barrieren. Für die Bestimmung der Feuchtigkeitsausbreitung und die Charakterisierung des Gebirges in der Umgebung untertägiger Endlagerräume werden experimentelle Methoden weiterentwickelt und erprobt.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Vorhaben sind eingebunden in internationale Projekte und werden z.T. von der EC im Rahmen des FP6 kofinanziert. Innerhalb der Vorhaben wurden die folgenden Arbeiten ausgeführt:

#### **Hartgestein/Granit**

GMT und FEBEX II (FL Grimsel); Prototype Repository, Task Force EBS, Temperature Buffer Test, Radionuclide Retention, Colloid, und Microbe (HRL Äspö).

- Weiterentwicklung der Methoden zur Messung von Wasser-Aufsättigung, Porenwasserdruck und Temperaturen im Endlager-Nahbereich mit Hilfe geoelektrischer und faseroptischer Sensoren sowie quantitative Bestimmung der jeweiligen Parameter,
- In-situ- und Labor-Untersuchungen zur Ausbreitung von Aktiniden im Gebirge, auch unter dem Einfluss von Kolloiden und Mikroben,
- Numerische Modellierung und Laboruntersuchungen zur Aufsättigung und Gas-Wasser-Prozessen im Versatzmaterial und im Gebirge.

#### **Ton/Tonstein**

CORALUS 2 (Mol), MODEX-REP (Bure), Heater Experiment, Ventilation-Test, SB-Experiment (Mt. Terri)

- In-Situ- und Labor-Untersuchungen zur Gas-Erzeugung, -Freisetzung und -Ausbreitung im Tongestein und in den Versatzmaterialien unter dem Einfluss von Strahlung bei Raumtemperatur und bei 90 bis 100°C.
- Ermittlung relevanter, zur Beschreibung des Materialverhaltens erforderlicher Gesteinsparameter, und Entwicklung von Modellen zur Berechnung von gekoppelten HM-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 insgesamt 9 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, Kleiststraße 32, 30916 Isernhagen</b>                                |   |     |
| 02 C 1004   | Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 1   | 126 |
| <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  | 146 |
| 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 | 170 |
| <b>Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal</b>                      |   |     |
| 02 C 1084   | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems  | 142 |
| <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   | 128 |
| 02 C 1074   | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten  | 140 |
| <b>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine</b>                                    |   |     |
| 02 E 9521   | Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)  | 16  |
| 02 E 9531   | Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen   | 18  |
| 02 E 9733   | Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein   | 38  |
| 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                         | 40  |
| 02 E 9854   | Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1)  | 62  |
| 02 E 9965   | Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA   | 82  |

- 02 E 10065 Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW - Kurztitel: ISIBEL  102

**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 UniTüb: 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  52
- 02 W 6232 Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen  206
- 02 W 6243 Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen  208

**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
- KWA 2003 Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine  212

|   |
|---|
| <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 | 📖 28  |
| 02 E 9985 | Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall   | 📖 86  |

|   |
|---|
| <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 0912 | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien   | 📖 110 |
| 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 Redoxeigenschaften 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 |

|                   |   |     |
|-------------------|---|-----|
| <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 | 14  |
| <b>02 E 9551</b>  | Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen  | 20  |
| <b>02 E 9723</b>  | Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen   | 36  |
| <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  | 46  |
| <b>02 E 9783</b>  | Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  | 48  |
| <b>02 E 9813</b>  | Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen   | 54  |
| <b>02 E 9824</b>  | Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)  | 56  |
| <b>02 E 9834</b>  | Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT  | 58  |
| <b>02 E 9844</b>  | NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment   | 60  |
| <b>02 E 9884</b>  | Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen   | 66  |
| <b>02 E 9894</b>  | Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt   | 68  |
| <b>02 E 9914</b>  | Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ  | 72  |
| <b>02 E 9934</b>  | Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)  | 76  |
| <b>02 E 9944</b>  | Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2   | 78  |
| <b>02 E 9954</b>  | Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager   | 80  |
| <b>02 E 9975</b>  | Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA   | 84  |
| <b>02 E 9995</b>  | Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5  | 88  |
| <b>02 E 10045</b> | Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure  | 98  |
| <b>02 E 10055</b> | Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL  | 100 |

- 02 E 10075 Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lösungen bei Temperaturen bis 90°C – Kurztitel: FeT90  104

**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  64
- 02 E 9904 Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein  70

**Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30655 Hannover**

- 02 C 1315 Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen  188

**Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., 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  26
- 02 E 9753 Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracerverfahren  42

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

- 02 E10005 Auswertung von Modellierungsansätzen zum Gastransport in Tongesteinen (GASTON)  90

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

- 02 E 9653 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit  24

**Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen**

- 02 C 1214 Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar  168
- 02 C 1395 Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 1  198

**Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99423 Weimar**

- 02 C 1064 Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken  138

**Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Binzengrün 34 a, 79114 Freiburg**

- 02 E 9793 Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  50
- 02 E 1345 Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle  194

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

- 02 E 9703 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen  34

**TU Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg**

- 02 C 1124 Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke  150

**TU Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2A, 38678 Clausthal-Zellerfeld**

- 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  108
- 02 C 0952 Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge  116
- 02 C 1034 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4  132
- 02 C 1134 Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern  152

- 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  22
- Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt**
- 02 E 10015 Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein  92
- Technische Universität Ilmenau, Max-Planck-Ring 14, 98684 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  32
- 02 E 9763 Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  44
- 02 E 10035 Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden  96
- Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66123 Saarbrücken**
- 02 E 9683 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit  30
- Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Kaiserstraße 12, 76128 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  94

**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, 14415 Potsdam**

- 02 E 9924** Verbundprojekt: Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Humin-Metall-Komplexierung (Teil Antrag im Verbund „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“)  74