

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

## **PTE Nr. 29**

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

Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe  
Wassertechnologie und Entsorgung  
(PTKA-WTE)

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH**  
August 2005

## **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 Arbeit (BMWA) 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 BMWA im Rahmen des Förderkonzepts geförderten FuE-Vorhaben. Die Betreuung der FuE-Vorhaben erfolgt für folgende Referate in den beiden Ministerien:

|   |                    |
|---|--------------------|
| Endlagerung radioaktiver Abfälle              | BMWA Referat IX B3 |
| Untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle | BMBF Referat 623   |
| Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung | BMWA 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 BMWA 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 Sicherheitsgesichtspunkten .....</i> | <i>1</i>   |
| 1.2      | <i>Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien .....</i> | <i>4</i>   |
| 1.3      | <i>Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung .....</i>   | <i>9</i>   |
| <b>2</b> | <b>Formalisierte Zwischenberichte .....</b>  | <b>11</b>  |
| 2.1      | E-VORHABEN .....   | 11         |
| 2.2      | C-VORHABEN .....   | 99         |
| 2.3      | W-VORHABEN .....   | 189        |
| 2.4      | BMW-HAUSVORHABEN .....   | 195        |
| <b>3</b> | <b>Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....</b>   | <b>199</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>        | 📖 112 |
| <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>        | 📖 114 |
| <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>        | 📖 116 |
| <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>        | 📖 118 |
| <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> | 📖 132 |
| <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>      | 📖 134 |
| <b>02 C 1084</b> | Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems  | <b>Bergische Universität Wuppertal</b>  | 📖 136 |
| <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>                                | 📖 138 |
| <b>02 C 1104</b> | Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme   | <b>Bauhaus-Universität Weimar</b>   | 📖 140 |
| <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>                                    | 📖 142 |

|                  |  |  |       |
|------------------|--|--|-------|
| <b>02 C 1124</b> | Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke  | <b>TU Bergakademie Freiberg</b>  | 📖 144 |
| <b>02 C 1134</b> | Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern  | <b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>  | 📖 146 |
| <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>     | 📖 156 |
| <b>02 C 1194</b> | Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchstfrequenz-Radar  | <b>TU Ilmenau</b>  | 📖 158 |
| <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>                              | 📖 160 |
| <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>  | 📖 162 |
| <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>  | 📖 164 |
| <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>                                    | 📖 166 |
| <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>   | 📖 180 |
| <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>           | 📖 182 |
| <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> | 📖 184 |

|                  |   |  |       |
|------------------|---|--|-------|
| <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> | 📖 186 |
| <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>                                      | 📖 70  |
| <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>                                      | 📖 92  |
| <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> | 📖 94  |
| <b>KWA 2003</b>  | Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine  | <b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>                                | 📖 196 |

## 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>                                | 📖 100 |
| <b>02 C 0841</b> | Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten   | <b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>                                | 📖 102 |
| <b>02 C 0912</b> | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>   | 📖 104 |
| <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>             | 📖 106 |
| <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>   | 📖 108 |
| <b>02 C 0952</b> | Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge  | <b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>                                | 📖 110 |
| <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>                                    | 📖 120 |
| <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> | 📖 122 |
| <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>                    | 📖 124 |
| <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>                                | 📖 126 |
| <b>02 C 1044</b> | Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5   | <b>Universität Hannover</b>  | 📖 128 |
| <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>                                  | 📖 130 |

|                  |   |  |       |
|------------------|---|--|-------|
| <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.</b>                               | 📖 148 |
| <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>                         | 📖 150 |
| <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> | 📖 152 |
| <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>               | 📖 154 |
| <b>02 C 1244</b> | Prognose der Redoxeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 168 |
| <b>02 C 1254</b> | Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Depositionsfeld einer UTD   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 170 |
| <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>                  | 📖 172 |
| <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>                              | 📖 174 |
| <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> | 📖 176 |
| <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>                             | 📖 178 |
| <b>02 E 9198</b> | Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel (Phase V)  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 12  |
| <b>02 E 9239</b> | Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 14  |

|                  |  |  |      |
|------------------|--|--|------|
| <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> | 📖 16 |
| <b>02 E 9521</b> | Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)   | <b>DBE Technology GmbH, Peine</b>                                      | 📖 18 |
| <b>02 E 9531</b> | Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen  | <b>DBE Technology GmbH, Peine</b>                                      | 📖 20 |
| <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> | 📖 22 |
| <b>02 E 9602</b> | Untersuchungen zur Gaserzeugung und -freisetzung sowie dem Wassergehalt und der Wasserumverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 24 |
| <b>02 E 9612</b> | Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein   | <b>DBE Technology GmbH, Peine</b>                                      | 📖 26 |
| <b>02 E 9622</b> | Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 28 |
| <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>                              | 📖 30 |
| <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>                            | 📖 32 |
| <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>   | 📖 34 |
| <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>                      | 📖 36 |
| <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>                         | 📖 38 |

|                  |   |  |      |
|------------------|---|--|------|
| <b>02 E 9693</b> | Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe  | <b>TU München</b>  | 📖 40 |
| <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>                           | 📖 42 |
| <b>02 E 9723</b> | Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 44 |
| <b>02 E 9733</b> | Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein   | <b>DBE Technology GmbH, Peine</b>                                      | 📖 46 |
| <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>                                      | 📖 48 |
| <b>02 E 9753</b> | Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radionucliden   | <b>IIF e.V., Leipzig</b>   | 📖 50 |
| <b>02 E 9763</b> | Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  | <b>TU München</b>  | 📖 52 |
| <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> | 📖 54 |
| <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> | 📖 56 |
| <b>02 E 9793</b> | Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  | <b>Öko-Institut e.V., Freiburg</b>                                     | 📖 58 |
| <b>02 E 9803</b> | Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager  | <b>FZ-Jülich</b>   | 📖 60 |
| <b>02 E 9813</b> | Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 62 |
| <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> | 📖 64 |

|           |  |   |    |
|-----------|--|---|----|
| 02 E 9834 | Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT   | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 66 |
| 02 E 9844 | NF-PRO5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment   | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 68 |
| 02 E 9864 | Selbsteilungseffekte in Tongestein bei hohen Temperaturen – Teilvorhaben WP 4.4 des Integrated Project NF-PRO des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission   | BUTECH Umwelttechnik GmbH, Eschborn                             | 72 |
| 02 E 9874 | Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation   | IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig                  | 74 |
| 02 E 9884 | Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen  | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 76 |
| 02 E 9894 | Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineralgemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt   | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 78 |
| 02 E 9904 | Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein  | IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig                  | 80 |
| 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 | 82 |
| 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   | 84 |
| 02 E 9934 | Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)   | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 86 |
| 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 | 88 |
| 02 E 9954 | Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager  | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 90 |
| 02 E 9995 | Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5   | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 99 |

### 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> | 📖 190 |
| <b>02 W 6243</b> | Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen                   | <b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b> | 📖 192 |



## **2 Formalisierte Zwischenberichte**

### **2.1 E-Vorhaben**

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9198</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel (Phase V)  |  |   |  |
| <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>01.10.1998 bis 30.06.2005   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>854.131,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Jockwer                  |  |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Schächte und Zugangsstrecken in Endlagern für radioaktive Abfälle sollen durch technische Barrieren (Dämme, Abschlussbauwerke, Streckenversatz) hinreichend dicht und dauerhaft verschlossen werden. Als Verschlussmaterialien sollen u. a. Beton, Tone und Ton-Mineralgemische Verwendung finden. Im Felslabor Grimsel wird im Auftrag von RWMC ein Betonsilo mit einem Durchmesser von ca. 2,00 m und einer Höhe von ca. 2,00 m mit seinen technischen Barrieren hergestellt. In diesem Projekt wird von GRS die Gasmigration in den technischen Komponenten (Beton, Bentonit) und im angrenzenden Gebirge untersucht. Unter realistischen Bedingungen soll das Zusammenwirken im Normalfall ermittelt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

- AP1 Ermittlung des Gasgehaltes sowie des Fluiddruckes im Porenraum des den Versuchsort umgebenden Granits (Step A Site Characterisation)
- AP2 Gasausbreitung in den Bauwerkskomponenten des Silos (technische Barrieren Beton und Bentonit) unterhalb eines Gasdurchbruchs (Step B with vent)
- AP3 Laboruntersuchungen zur Ermittlung der hydraulischen Parameter der verschiedenen Bauwerkskomponenten.

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

Die Laboruntersuchungen am Bentonit-Sand Gemisch, das als Versatzmaterial um das Betonsilo eingesetzt war, wurden fortgesetzt. Dabei ergaben sich bei dem bis auf eine Trockendichte von  $2100 \text{ kg/m}^3$  kompaktierten Material Gaspermeabilitäten von  $10^{-15}$  bis  $10^{-16} \text{ m}^2$  und Wasserpermeabilitäten nach Aufsättigung der Proben von  $10^{-18}$  bis  $10^{-19} \text{ m}^2$ . Bei den Untersuchungen zur Gaspermeabilität der aufgesättigten Proben konnten bis zu einem Gasinjektionsdruck von 2,0 MPa keine Gaseintritte und auch kein Gasdurchbrüche erreicht wurden. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den In-situ-Messungen, in denen bei einem Gasinjektionsdruck von ca. 0,6 MPa bereits eine Gasausbreitung stattfand. Aus diesem Widerspruch kann gefolgert werden, dass das Versatzmaterial um das Betonsilo unter den Randbedingungen des In-situ-Versuchs nicht vollständig aufgesättigt war.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Fertigstellung des Abschlussberichtes.

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

NAGRA: Project Report 05-06, GMT 04-01, Summery report of the Fiscal Year 2004 activities, April 2005

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9239</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>01.02.2000 bis 31.03.2005   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 31.03.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.702.749,45 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Brewitz                  |   |

## 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 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.
- Auswertung neuer wissenschaftlicher Ergebnisse und Erarbeitung aktualisierter Modelle und Daten zur Verwendung in Instrumentarien für Langzeitsicherheitsanalysen.
- Erarbeitung wissenschaftlicher Stellungnahmen zu grundsätzlichen methodischen Vorgehensweisen in der Langzeitsicherheitsanalyse, wie zur Verwendung geeigneter Sicherheitsindikatoren oder zur Leistungsfähigkeit probabilistischer bzw. deterministischer Sicherheitsanalysen.

TA 2: Detaillierte Arbeiten zu ausgewählten Einzelthemen:

- Absicherung der bisher in Langzeitsicherheitsanalysen verwendeten Konvergenzansätze auf Basis vorliegender Ergebnisse.
- Verfolgung und Begleitung von Vorhaben über Natürliche Analoga und Bewertung ihrer Relevanz für den Langzeitsicherheitsnachweis von Endlagern.
- Fachliche Begleitung und Mitarbeit bei Endlager-Projekten in Osteuropa und Russland.

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

TA 1: - Fertigstellung des zusammenfassenden Abschlussberichts.

- Fertigstellung des Berichts „Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern für abgebrannte Brennelemente in Salz- und Granitformationen“.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Das Projekt endete am 31.03.2005

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

Rübel, A.; Noseck, U.; Müller-Lyda, I; Kröhn, K.P.; Storck, R.: Konzeptioneller Umgang mit Gasen im Endlager. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-205, Braunschweig, Dezember 2004.

Rübel, A.; Müller-Lyda, I; Storck, R.: Die Klassifizierung radioaktiver Abfälle hinsichtlich der Endlagerung. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-203, Braunschweig, Dezember 2004.

Keesmann, S.; Noseck, U.; Fein, E.; Schneider, A.; Buhmann, D.: Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern für abgebrannte Brennelemente in Salz- und Granitformationen. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-206, Braunschweig, März 2004. (Entwurf)

Noseck, U.; Brewitz, W.; Becker, D.; Buhmann, D.; Fein, E.; Hirsekorn, P.; Keesman, S.; Kröhn, K.P.; Müller-Lyda, I.; Rübel, A.; Schneider, A.: Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-204, Braunschweig, März 2004. (Entwurf)

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>428.635,26 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 Mai 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 neben dem Gas auch freies Wasser vorlag. Neben Stickstoff waren die wichtigsten Gaskomponenten:

- Wasserstoff bis 7 vol %,
- Kohlendioxid bis 6 vol %,
- Kohlenwasserstoffe bis 0,8 vol % und
- Sauerstoff bis 3 vol %.

Trotz dieser Gasfreisetzung ergab sich in den Filterrohren und dem umliegenden Versatz kein Druckaufbau. Vielmehr konnten die atmosphärischen Luftdruckschwankungen registriert werden. Das bedeutet, dass das Gesamtsystem bisher nicht gasdicht ist und es zu einer permanenten Verdünnung der freigesetzten Gase kommt.

Die Auswertung der im Dezember 2004 durchgeführten ersten Gasinjektionstests zeigte, dass der Bentonit auch in Erhitzernähe inzwischen teilgesättigt ist. Die effektiven Gaspermeabilitäten lagen in der Regel bei  $10^{-18}$  bis  $10^{-17}$  m<sup>2</sup>.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weiterführung der Messungen zur Gasfreisetzung aus dem aufgeheizten Bentonitversatz.

Weiterführung der Messungen zum Gasdruckaufbau im Porenraum des aufgeheizten Bentonitversatz.

Weiterführung und Auswertung der Messungen zur Permeabilität des aufgeheizten Bentonitversatzes.

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

ENRESA: Final technical publishable report for the EURATOM contract FIKW-CT 2000-00016, reporting period September 2000 to December 2004

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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 31.12.2005   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <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: Die Untersuchungen zum ingenieurtechnischen Nachweis von Permeationsbarrieren wurden vertieft. Der ingenieurtechnische Nachweis besteht i. d. R. aus mehreren zu führenden Einzelnachweisen. So ist z. B. der Nachweis der Wirksamkeit einer Permeationsbarriere mit dem Einzelnachweis der Rissbeschränkung verknüpft, der vom gewählten Barrierematerial, den Belastungsbedingungen und der konstruktiven Ausführung abhängt. So ist bekanntlich für ungeschädigtes Salz die Dilatanzbedingung als lokale Bedingung maßgebend, die, um Rissbildung während des gesamten Nachweiszeitraums auszuschließen, in ihrer akkumulierten Form verwendet wird. Für vorgeschädigtes Salz, z. B. in der Auflockerungszone wird das Minimalspannungskriterium bzw. Fluidkriterium diskutiert, da von keinem Verbund ausgegangen werden kann. Dieses ist im ersten Ansatz dann auch auf Materialien, wie z. B. Bentonit, übertragbar, wo der Verbund von vornherein nicht gegeben ist. Die Erfüllung des Minimalspannungskriteriums ist notwendige Bedingung für den Nachweis der Rissbeschränkung, aber nicht zwangsläufig hinreichend, da theoretisch eine Vergrößerung der Permeabilität z. B. auch in Folge einer poroelastisch bedingten Aufweitung der hydraulisch wirksamen, vernetzten Porosität erfolgen kann. Auch für die Permeationsbarriere Behälter im Granit oder Ton führt der Integritätsnachweis des Behälters letztlich auf den Nachweis der Rissbeschränkung zurück, der für metallische Behälter im Rahmen der Festigkeitsnachweise erfolgt.

Eine wesentliche Gemeinsamkeit der metallischen Behälter und einer ungeschädigten Salzbarriere besteht darin, dass die elastischen Verzerrungen klein gegenüber den inelastischen (plastischen) Verzerrungen sind, wobei die inelastischen Verzerrungen isochor verlaufen, bedingt durch die plastische Inkompressibilität der Materialien. Dadurch ist unter den o. g. Bedingungen der Rissbeschränkung eine lokale Volumenzunahme bzw. Porositätszunahme durch Auflockerung ausgeschlossen und der Aufbau eines wirksamen Porendrucks muss nicht berücksichtigt werden.

AP4: Mit der Zusammenstellung von Daten zu konventionellen Risiken wurde begonnen.

AP5: noch nicht begonnen

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Neu vorliegende Information in die Arbeiten einbeziehen

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 31.12.2005   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>770.566,00 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 Versuchs wurden ein faseroptisches Extensometer und eine Temperaturfaser in einer horizontalen Bohrung senkrecht zu den zwei Erhitzern installiert. Die kontinuierliche Aufzeichnung der Messwerte wurde im Berichtszeitraum fortgesetzt. Im März dieses Jahres wurden die beiden Erhitzer abgeschaltet und es wurde begonnen, das Verhalten des Gebirges während der Abkühlung zu beobachten.

Parallel zur Datenerfassung erfolgten weitere begleitende thermo-hydro-mechanische Modellierung des Versuchs zur Verbesserung des Systemverständnisses.

Ergebnisse des HE-D Versuchs wurden in einer kombinierten Analyse der In-situ-Messergebnisse, der thermophysikalischen Labormessungen an Kernproben sowie der begleitenden numerischen Berechnungen auf der Fachtagung in Tours, Frankreich im März dieses Jahres vorgestellt und diskutiert.

Im Untertagelabor in Bure wurde im Januar ein faseroptisches Extensometer in einer von ANDRA vorbereiteten Bohrung in der Schachtnische erfolgreich eingebaut und der Funktionsnachweis wurde erbracht. Mit diesem Extensometer soll die Gebirgsantwort auf den Abteufprozess erfasst werden. Mit der Aufzeichnung der Messdaten wurde begonnen. Erste Reaktionen des Gebirges auf den Abteufprozess konnten erfasst werden.

Das numerische Modell für die begleitenden hydro-mechanischen Berechnungen wurde hinsichtlich der aktuellen Einbaukonfiguration des Extensometers angepasst, um einen möglichst optimalen Vergleich zwischen Messung und Berechnung erzielen zu können.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weitere analysierende numerische Berechnungen zum thermo-hydro-mechanischen Verhalten des Opalinustons im Rahmen des HE-D Versuches in Mont Terri unter besonderer Berücksichtigung der Abkühlphase. Abbau des faseroptischen Mess-Systems im Oktober 2005 nach Beendigung des Versuchs.

Kontinuierliche Datenaufzeichnung der Verformungen als Reaktion auf den Schachtvortrieb im Rahmen des REP-Experiments in Bure. Analysierende numerische Berechnungen zum hydro-mechanischen Verhalten des Callovo-Oxfordian Tonsteins als Reaktion auf den Schachtvortrieb in Bure.

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

Jobmann, M. & Polster, M. 2005: The response of opalinus-clay due to heating: a combined analysis of in-situ measurements, laboratory investigations and numerical calculations, 2nd International Meeting on Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement, Tours (France), March, 14-18.

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.252.955,00 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

#### Standort Ruprechtov

Durchgeführte Arbeiten:

- Analyse von Kohlenstoff-Umsetzungsprozessen aus  $^{13}\text{C}$ - und  $^{14}\text{C}$ -Isotopenmessungen als Basis für weiterführende Arbeiten zum Verhalten organischer Materie im EU-Projekt FUNMIG, RTDC-5
- Untersuchungen zur Sorption von U(IV) an ausgewählten Sedimenten mit/ohne Einfluss von Huminstoffen
- Ermittlung und Auswertung von Aktivitätsverhältnissen von Isotopen der Uran-Reihe in Granit und Kaolin
- Zusammenführung aller vorliegenden Ergebnisse

Ergebnisse:

- Darstellung der hydrogeologischen Gesamtsituation auf der Basis des aktuellen Wissensstandes unter Einbeziehung von Isotopendaten
- Ableitung von Szenarien zur geologischen Entwicklung des Standortes unter besonderer Berücksichtigung der Freisetzung und Festlegung von Uran

#### Standort Heselbach

Durchgeführte Arbeiten:

- Abschließende Auswertung und Zusammenfassung der Standortuntersuchungen incl. sämtlicher analytischer Arbeiten

Ergebnisse:

- Darstellung und Überprüfung des konzeptuellen Modells mit Hilfe von Transportrechnungen mit dem Programm Feflow

Erstellung des Abschlussberichtes.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fertigstellung des Abschlussberichts.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Schönwiese, D., Brasser, Th. & Noseck, U.: Site characterisation of the potential Natural Analogue Site Heselbach in Bavaria/Germany. Uranium Mining and Hydrogeology UMH IV, 11.9.-16.9.2005, Freiberg [eingereicht]

Laciok, A., Noseck, U., Brasser, Th., Havlova, V. & Hercik, M.: Geochemical behaviour of uranium in a natural argillaceous system at Ruprechtov site. Migration '05, 18.9.-23.9.2005, Avignon [eingereicht]

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9602</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchungen zur Gaserzeugung und -freisetzung sowie dem Wassergehalt und der Wasserumverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels                |  |   |  |
| <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>01.01.2002 bis 31.03.2005   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 31.03.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>671.019,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Jockwer                  |  |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Untertagelabor Mt. Terri wurde ein Versuchsfeld angelegt, um das umliegende Gebirge (Opalinus Ton) auf 100 °C aufzuheizen und die Temperaturverteilung, den Gebirgsdruck, den Fluiddruck, den Wassergehalt sowie die Wasserumverteilung, die Gasfreisetzung, die Korrosion von Behältermaterialien und die Gebirgsbewegung zu ermitteln.

In diesem internationalen Versuch, unter der Projektleitung von BGR (D) und der Beteiligung von ENRESA (E), NAGRA (CH), ANDRA (F) und GRS (D), sollen von GRS in situ und im Labor die thermische Gaserzeugung und -freisetzung sowie mit geoelektrischen Verfahren der Wassergehalt und die Wasserumverteilung im Opalinus-Ton ermittelt werden.

Aufgrund technischer Schwierigkeiten konnten mit der Aufheizung und den entsprechenden Untersuchungen erst im Februar 2002 begonnen werden.

Mit diesem Vorhaben werden die vorhandenen Kenntnisse zu einem Endlager in Tonformationen sowie die von Tonversatz- und Tonverschlussmaterialien verbessert bzw. weiterentwickelt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

AP 1: In-situ-Untersuchungen zur Wasser- und Gasfreisetzung im Nahfeld des Erhitzers.

AP 2: In-situ-Untersuchungen zur Wasserumverteilung im Nahfeld des Erhitzers.

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

Der Abschlussbericht für die Europäische Kommission ist in Zusammenarbeit mit dem Projektkoordinator (BGR) erstellt worden.

Die Laboruntersuchungen an den aus dem Versuchsfeld gewonnenen Proben wurden abgeschlossen.

Die Labor- und In-situ-Messungen sind ausgewertet und zusammengestellt worden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Erstellung des Abschlussberichtes

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

Jockwer, N., Wieczorek, K., Fernandez, A.M.: Measurements of gas generation, water content and change in the water distribution in a heater experiment in the underground laboratory Mont Terri, Contribution on the 2<sup>nd</sup> International Meeting “Clay in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement”, Tours, March 14-18, 2005, Proceeding to be printed.

|   |   |
|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9612</b>         |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein (ASTER)  |   |
| <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>01.02.2002 bis 31.03.2005   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 31.03.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>652.764,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Krone                    |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Bundesregierung hat in der Neuausrichtung der Endlagerforschung festgelegt, alternativ zu Salz, auch andere Wirtsgesteinsformationen zu untersuchen. Gegenstand des Vorhabens ist die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle im Hartgestein. Hierzu sollen die Anforderungen für die Standorterkundung ermittelt werden, um einen Sicherheits- bzw. Standorteignungsnachweis führen zu können.

Diese Arbeiten werden anhand von zwei Auslegungs- und Standortbeispielen durchgeführt werden.

Dabei kann sich das Projektteam DBE TECHNOLOGY GmbH, BGR und GRS unmittelbar auf die Erfahrungen zur Planung der Erkundung des Salzstockes Gorleben und die dazu erarbeitete Methodik der Eignungsaussage stützen.

Das vorliegende Förderprojekt umfasst dabei die Leistungen der DBE TECHNOLOGY GmbH.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Ermittlung und Bewertung der verfügbaren Ausgangsdaten

AP2: Vorläufige Endlagerauslegung und Bewertung der technogenen Einwirkungen auf das Mehrbarrierensystem

AP3: Vorbereitung eines sicherheitsanalytischen Endlager- und Standortmodells (Federführung GRS)

AP4: Ableitung von Anforderungen an die geowissenschaftliche Erkundung des Endlagerstandortes (Federführung BGR)

AP5: Dokumentation

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

Die Ermittlung und Abstimmung der Ausgangsdaten hinsichtlich des endzulagernden Abfallinventars, der verfügbaren Erkundungsergebnisse und maßgeblicher Vorgaben für die Endlagerplanung waren bereits vor dem Berichtszeitraum abgeschlossen. Bezüglich fehlender Ausgangsdaten hatten sich die beteiligten Partner auf plausible Annahmen verständigt. Sie wurden im Abschlussbericht umfassend dokumentiert.

AP2:

Der Schwerpunkt der Arbeiten bestand im Abschluss der Ergebnisdokumentation zur Optimierung der thermischen Endlagerauslegung für die am stärksten wärmeentwickelnde Cs/Sr-Fraktion. Dabei war sicherzustellen, dass die Grenztemperaturen sowohl für den Bentonitpuffer (100 °C) als auch für die Glasmatrix (500 °C) nicht überschritten werden. Neben der Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Bentonits mittels Graphitzuschlag erwies sich die Variation der thermischen Parameter (Kapazität und Leitfähigkeit) des Isolationsmaterials (zwischen Behälter und Bentonit) als zielführend, in das die Abfallbehälter eingebettet werden sollen. Im Weiteren wurden die Ergebnisse der Variationsuntersuchungen dokumentiert, bei denen der Einfluss der thermischen Parameter des Wirts- und Nebengesteins auf die Größe des erforderlichen Einlagerungsfeldes betrachtet wurde. Dabei zeigte sich gleichfalls, dass vor allem die Leitfähigkeit des Wirtsgesteins und des Bentonits sowie die Dicke des Isolationsmaterials, die dominierenden Einflussgrößen sind.

Zu AP4:

In Ergänzung der Arbeiten der BGR wurden die aus den Anforderungen der Endlagerplanung abgeleiteten Empfehlungen für die Fortführung der Standorterkundung im Abschlussbericht dokumentiert und ein Versuchsprogramm zur Optimierung und zum Test seismischer Erkundungsverfahren mit den russischen Projektpartnern abgestimmt.

Zu AP5:

Gemeinsam mit den deutschen Projektpartnern wurde der Abschlussbericht abgestimmt. Die Grundlage hierfür bildete der vorläufige Entwurf der deutschen Projektpartner, der ins Russische übersetzt, ergänzt und vervollständigt wurde. Im Mittelpunkt standen dabei die Empfehlungen für die weitere Standorterkundung.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Fortführung der Arbeiten ist im Rahmen des FuE-Vorhabens „Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barrierensystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen – WIBASTA“ (FKZ 02E9965) vorgesehen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

J. Krone et al.:

Russian-German Co-operation in Developing a Methodological Approach for Disposal Site Selection in Hard Rock Formations, Eurosafe, Berlin 2002.

J. Krone, M. Jobmann, T. Gupalo, C. Fahrenholz, W. Brewitz, E. Fein, J. Hammer:

Deutsch-russische Zusammenarbeit zur Entwicklung eines methodischen Ansatzes für die Standortsuche und Standortauswahl in Hartgesteinsformationen, Clausthaler Kolloquium zur Endlagerung 2003, Clausthal-Zellerfeld.

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln   |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9622</b>         |  |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein (ASTER)<br>AP3: Vorbereitung eines sicherheitsanalytischen Endlager- und Standortmodells             |  |   |  |
| <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>01.02.2002 bis 31.03.2005   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 31.03.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>449.395,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Fein                     |  |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des Vorhabens ist, am Beispiel von zwei geplanten russischen HAW-Endlagerstandorten in Hartgesteinsformationen (Granit und Porphyry), Anforderungen an eine zielgerichtete Standorterkundung zu ermitteln. Die daraus zu gewinnenden Daten dienen der Konzipierung der Endlagerkonzepte und der Entwicklung sicherheitsanalytischer Modelle. Für die beiden Beispiele sollen orientierende Modellrechnungen durchgeführt werden, die die Sicherheit sowohl der Standorte als auch der Endlagerkonzepte belegen. In der noch sehr frühen Phase sollen der Datenbedarf für eine Endlagersicherheitsanalyse und die notwendigen Maßnahmen zur zielgerichteten geowissenschaftlichen Erkundung eines Standortes im Hartgestein definiert werden. Das Vorhaben setzt sich sowohl für den granitischen als auch den porphyrischen Standort aus folgenden APs zusammen: AP 1 Basisdaten; AP 2 Endlagerauslegung (DBE); AP 3 Sicherheitsanalytisches Modell (GRS); AP 4 Ableitung Erkundungsanforderungen (BGR); AP 5 Dokumentation.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist wie folgt unterteilt:

### AP3: Untersuchungen im Granit und im Porphyry

- Sicherheitsanalytisches Modell
- Modellentwurf
- Modellüberprüfung
- Umsetzung Strömungsmodell
- Strömungsmodellierung
- Umsetzung Radionuklidtransport
- Transportmodellierung

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

Es wurden Restarbeiten zur Fertigstellung des gemeinsamen Abschlussberichts durchgeführt. Dieser Bericht wurde anschließend ins Russische übersetzt. Nach Ende der Projektlaufzeit gab es noch ein Arbeitstreffen in Peine mit den russischen Kollegen zur Endabstimmung des Abschlussberichtes. Am 15./16. September 2005 soll in Peine ein Workshop stattfinden, auf dem auch die Ergebnisse dieses Vorhabens präsentiert werden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

keine

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2 a, 38670 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 Vorhaben 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: Beschaffung von Bohrkernmaterial aus den Lagerstätten Konrad Schacht 1/2 (Deutschland - Kernlager BGR), Mont Terri (Schweiz - NAGRA), Bure (Frankreich - ANDRA).

AP2: Konstruktion, Bau und Inbetriebnahme von Prüfständen für triaxiale Langzeitversuche mit Dilatanz- und Ultraschallwellenmessung.

- AP3: Planung und Durchführung von TC- und TE- Festigkeitsversuchen an Vollprüfkörpern mit messtechnischer Erfassung der Dilatanz zur Bestimmung zentraler Gesteinsparameter, d. h. Verformungs- und Kurzzeitfestigkeitsverhalten sowie Volumenänderung- und Formänderungsarbeit unter Berücksichtigung der Spannungsgeometrie mit lokationsbezogenen Streubreiten; Durchführung von Versuchsreihen zur Identifizierung von grundsätzlichen Alterungsaspekten im Rahmen des Verformungs- und Kurzzeitfestigkeitsverhaltens an unter verschiedenen Randbedingungen gelagertem Kernmaterial der Lokation Mont Terri.
- AP4: Planung und Durchführung von triaxialen Kriechversuchen an Vollprüfkörpern mit messtechnischer Erfassung der Dilatanz zur Bestimmung zeitabhängiger Gesteinsparameter, d. h. Kriechparameter, Kriechbruchparameter unter Berücksichtigung der Spannungsgeometrie mit lokationsbezogenen Streubreiten.
- AP5: Planung und Durchführung von triaxialen Kriechversuchen an Vollprüfkörpern mit messtechnischer Erfassung der Dilatanz und der Gaspermeabilität unter Berücksichtigung der Spannungsgeometrie; Planung und Durchführung laborativer Untersuchungen zum hydromechanisch gekoppelten Festigkeitsverhalten an Tongestein bei Entsättigung.
- 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: 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 ersten 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 ersten 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 ersten Verifikations- und Validationsberechnungen auf der Grundlage von eigenen laborativen Untersuchungsergebnissen.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: keine
- AP2: keine
- AP3: Planung und Durchführung weiterer laborativer Untersuchungen zur Bestätigung / Ergänzung der im Rahmen der Bearbeitung des AP5 vorliegenden Ergebnisdaten.
- AP4: Durchführung weiterer laborativer Untersuchungen vor dem Hintergrund vorhandener Laborergebnisse zur Bestimmung von lokationsbezogenen Eingabedatensätzen zur Beschreibung des Stoffmodells *Hou/Lux-T* sowie den für den internen Gebrauch beim Projektträger in Abschnitt 8 dieses Berichtes dokumentierten notwendigen Zieländerungen.
- AP5: Planung und Durchführung weiterer laborativer Untersuchungen zum hydromechanisch gekoppelten Festigkeitsverhalten an Tongestein vor dem Hintergrund der für den internen Gebrauch beim Projektträger in Abschnitt 8 dokumentierten notwendigen Zieländerungen.
- AP6: Durchführung von weiteren Verifikations- und Validationsberechnungen mit dem FDM-Programmsystem FLAC3D.
- AP7: Durchführung von weiteren Verifikations- und Validationsberechnungen auf der Grundlage von eigenen laborativen Untersuchungsergebnissen für die Analyse des Tragverhaltens von Grubenbauen im Tongestein zur Validierung des Stoffmodellansatzes; Bestimmung eines auf der Grundlage von vorlaufenden laborativen Untersuchungen mit institutseigenen Prüfständen hinreichend abgesicherten Parametersatzes zur Beschreibung des mechanischen Verhaltens von Tongestein vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung; Herausarbeitung grundsätzlicher numerischer Erfahrungen im Tonsteingebirge durch Stoffmodell-/Parametervariation an Referenzmodellen (Strecken) im Tonsteingebirge.
- 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

Der neue Diodenarray-Detektor (DAD) wurde für die Analytik der Huminsäure mit der CE-ICP-MS eingesetzt. Mit 1 M Essigsäure als Elektrolyten konnte eine Eigenbewegung der Huminsäure gegenüber dem EOF beobachtet werden. Dies belegt eine negative Ladung der Huminsäure. Die Aldrich-Huminsäure trennt sich in 1 M Essigsäure nicht in verschiedene Fraktionen. Durch die Untersuchung einer Iod-Iodid-Lösung konnten verschiedene iodhaltige Spezies sowohl im DAD-Detektor wie auch in der ICP-MS beobachtet werden. Damit können Laufzeitunterschiede zwischen beiden Detektoren mathematisch korrigiert werden.

Das Redoxverhalten von Pu(III) in Kontakt mit Gohy-573 Fulvinsäure wurde weiter untersucht. Eine  $6,5 \cdot 10^{-7}$  M Pu(III)-Lösung wurde unter Inertgas-Atmosphäre (Ar) mit Fulvinsäure verschiedener Konzentrationen bei pH 5,5 in Kontakt gebracht.

Hierbei wird eine schnelle Oxidation des Pu(III) zu höheren Oxidationsstufen beobachtet, gefolgt von einer langsamen Reduktion zurück zum Pu(III) durch den Einfluss der Fulvinsäure. Bei einer Fulvinsäurekonzentration von 15 mg/l erfolgt eine Stabilisierung des Pu(III) nach längerer Kontaktzeit.

Die Sorption von Plutonium(IV) an Kaolinit im Konzentrationsbereich  $3,6 \cdot 10^{-7}$  M,  $6,7 \cdot 10^{-8}$  und  $6,9 \cdot 10^{-9}$  M wurde bei pH 0 bis 13 und einer Ionenstärke  $I = 0,1$  M in Gegenwart von  $\text{CO}_2$  in Batch-Experimenten bestimmt.

Weiterhin wurde die Reduktion und Redoxkinetik von  $2,5 \cdot 10^{-6}$  M Pu(VI) in Anwesenheit von 0,5 mg/l Gohy-573 Fulvinsäure bei pH 1; 2,5; 5 und 9 und der Ionenstärke  $I = 1$  M mittels CE-ICP-MS unter  $\text{CO}_2$ -Kontakt untersucht.

Die Sorptionskurven von  $3,6 \cdot 10^{-7}$ ,  $6,7 \cdot 10^{-8}$  und  $6,9 \cdot 10^{-9}$  M Plutonium(IV) an Kaolinit zeigen einen nahezu gleichen Verlauf. Die Sorptionskante liegt bei  $\text{pH} \approx 1$  mit einem Sorptionsminimum zwischen pH 3 und 6, wobei ein sorbierter Pu-Anteil zwischen 60 % und 90 % beobachtet wird. Oberhalb von pH 9 sinkt der Anteil des sorbierten Pu, möglicherweise als Folge der Carbonatkomplexierung des Plutoniums.

Die Redoxkinetik von  $2,5 \cdot 10^{-6}$  M Pu(VI) mit GoHy-573 Fulvinsäure liefert eine vollständige Reduktion des Pu(VI) innerhalb von ca. 10 h bei pH 5 und 9, von 100 h bei pH 2,5 und ca. 1000 h bei pH 1.

Für 8  $\mu\text{M}$  Np(V) wurden Batch-Experimente im pH Bereich von 6,0 bis 11,0 unter  $\text{CO}_2$ -Ausschluss durchgeführt. Der zeitliche Verlauf der Sorption von Np(V) wurde bei pH 9,0 untersucht. Weiterhin wurde die Speziation des Neptuniums in Abhängigkeit vom pH-Wert in An- und Abwesenheit von  $\text{CO}_2$  mit Hilfe der EXAFS-Spektroskopie gemessen. Für die geplanten Speziationsuntersuchungen von Np(V) an Hämatit wurde dieses Mineral synthetisiert und die Phasenreinheit des Syntheseprodukts durch Pulverdiffraktometrie überprüft.

Die Batch-Versuche für 8  $\mu\text{M}$  Np(V) zeigen eine kontinuierliche Zunahme der Sorption von Neptunium mit steigendem pH-Wert. Bei pH 11,0 werden ca. 90 % des Neptuniums am Kaolinit sorbiert. Die Absorptionskante (40 % Sorption) liegt bei pH 9. Ähnlich wie bei Uran(VI) beeinflusst  $\text{CO}_2$  den Verlauf der Sorption wesentlich. Die vorläufige Analyse der EXAFS-Messungen ergab je nach  $\text{CO}_2$ -Gehalt während der Probenpräparation mindestens zwei völlig verschiedene Neptuniumspezies an der Kaolinitoberfläche.

Bei pH 9,0 und in Gegenwart von  $\text{CO}_2$  erfolgt die Sorption von Np(V) aus einer  $7 \cdot 10^{-12}$  M Lösung sehr schnell. Bereits nach 30 Minuten sind 75 % des Neptuniums am Kaolinit sorbiert. Der stationäre Zustand (80 % Sorption) ist nach ca. 3 Stunden erreicht.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die CE-DAD-ICP-MS Kopplung soll für die Untersuchung der anionischen Plutoniumspezies eingesetzt werden. Dies könnte eine Alternative für die Bestimmung von Komplexbildungskonstanten des Pu mit Huminstoffen sein.

Die Stabilisierung von Pu(III) mittels anorganischer und organischer Reduktionsmittel wird untersucht. Weiterhin soll die Flüssig-Flüssig-Extraktion in Verbindung mit radiometrischen Messungen als Methode zur Bestimmung der Oxidationsstufen des Plutoniums bei sehr geringen Konzentrationen eingesetzt werden.

Sorptionsuntersuchungen von Pu(IV) an Kaolinit in Abwesenheit von  $\text{CO}_2$  sind in Vorbereitung. Die Desorption des Plutoniums(IV) von Kaolinit sowie der Einfluss von Fulvinsäure auf die Sorption des Plutoniums an Kaolinit (ternäres System) sollen studiert werden.

Nachdem die Sorption von Np(V) an Kaolinit unter  $\text{CO}_2$ -Ausschluss bei einer Konzentration von 8  $\mu\text{M}$  Np(V) untersucht wurde, sollen die Batch-Versuche auf eine sehr geringe Np-Konzentration ( $\sim 10^{-11}$  M) ausgedehnt werden. Die Auswertung der EXAFS-Spektren für das System Np-Kaolinit wird fortgesetzt. Weiterhin ist geplant, die Speziation von Pu(IV) bei der Sorption an Kaolinit mit Hilfe der EXAFS-Spektroskopie zu untersuchen. Zur Vorbereitung der Speziationsuntersuchungen an dem System Np-Hämatit sollen Batch-Experimente durchgeführt werden.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

S. Sachs, K. Schmeide, T. Reich, V. Brendler, K. H. Heise, G. Bernhard: EXAFS Study on the Neptunium(V) Complexation by Various Humic Acids under Neutral pH Conditions, *Radiochim. Acta* **93** (2005) 17-25

K. Schmeide, T. Reich, S. Sachs, V. Brendler, K. H. Heise, G. Bernhard: Neptunium (IV) Complexation by Humic Substances Studied by X-ray Absorption Fine Structure Spectroscopy, *Radiochim. Acta* **93** (2005) 187-196

St. Bürger, R.A. Buda, H. Geckeis, G. Huber, J.V. Kratz, P. Kunz, C. Lierse von Gostomski, G. Passler, A. Remmert, N. Trautmann: Isotope Selective Ultratrace Analysis of Plutonium for Environmental Studies by Laser Mass Spectrometry, *J. Environm. Radioactivity*, im Druck

|  |   |   |
|--|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 Wirtformationen (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 1: Elementanalytische Charakterisierung der verwendeten Huminstoffe  
 AP 2: Verfahrensentwicklung zur Markierung von Huminstoffen durch Azokupplung mit radiohalogenierten Anilinderivaten  
 AP 5: Untersuchung der Auswirkung von  $\text{SO}_4^{2-}$  auf die Humatkomplexbildung von  $[\text{}^{152}\text{Eu}]\text{Eu(III)}$  als Analogtracer für An(III): Kationenaustauschexperimente im Vergleich zu Inertelektrolyten in An- und Abwesenheit von Huminsäure  
 Untersuchung der Wechselwirkung von  $[\text{}^{59}\text{Fe}]\text{Fe(III)}$  mit verschiedenen Huminstoffen zur Charakterisierung des Konkurrenzeffektes gegenüber Eu(III): Abhängigkeit von Konzentration und Kontaktzeit, UV-VIS-Spektroskopie

Ergebnisse:

Fe(III) tritt mit Huminstoffen stärker in Wechselwirkung als andere dreiwertige Metalle, obwohl mit einer teilweisen Reduktion zu Fe(II) zu rechnen ist. Aus der maximalen Fe-Beladung (Flockungsgrenze) sowie aus UV-VIS-spektroskopischen Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass die kolloidalen Hydrolyseprodukte des Fe(III) im Zuge der Wechselwirkung mit Huminstoffen nicht aufgelöst werden, d. h. es liegt keine Humatkomplexbildung im eigentlichen Sinne vor. Das Verhältnis von Fe-Anbindung zu Eu-Verdrängung beträgt mindestens 30000:1 ( $10^{-8}$  M Eu, 5 mg/l Huminstoff). An Fulvinsäure wird Fe in ähnlichem Umfang gebunden, wobei kein Konkurrenzeffekt festgestellt wurde.

Der beobachtete Rückgang der Eu-Humatkomplexbildung mit zunehmender Vorequilibrationszeit Fe/Huminsäure ist weder auf einen zeitlichen Zuwachs des gebundenen Fe-Anteils noch auf Wandefekte zurückzuführen. Auch eine etwaige Mehrbeladung durch allmählichen Abbau der gebundenen Fe-Kolloide kommt nicht als Ursache in Frage, wie zeitabhängige UV-VIS-spektroskopische Messungen belegen. Damit beruht der kinetische Effekt am wahrscheinlichsten auf induzierten Strukturveränderungen am Huminstoff (z. B. intra- oder intermolekulare Brückenbildung).

Bezogen auf die Ionenstärke unterscheidet sich der Einfluss von  $\text{SO}_4^{2-}$  auf das Kationenaustauschverhalten von Eu in An- und Abwesenheit von Huminsäure nicht wesentlich vom Einfluss des Inertelektrolyten  $\text{ClO}_4^-$ , obwohl Eu mit  $\text{SO}_4^{2-}$  Komplexe bildet. Demnach tritt  $\text{SO}_4^{2-}$  nicht als Konkurrenzligand auf. Eine mögliche Bildung von Gemischtligandkomplexen beeinflusst die Eu-Humatkomplexbildung offenbar nur wenig.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- PET-Versuche zur Visualisierung des kolloidgetragenen Stofftransportes in geogenen Matrices, zunächst an Sandsäulen
- Quantitative Untersuchungen zur Mischaggregation von Huminstoffen mit niedermolekularen Fremdorganika anhand  $^{14}\text{C}$ -markierter Modellkomponenten

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

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

Lippold, H., Müller, N., Kupsch, H., "Effect of humic acid on the pH-dependent adsorption of terbium (III) onto geological materials", *Appl. Geochem.* **20** (2005) 1209-1217

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9673</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>352.156,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><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

- Die Arbeiten zur U(VI)-Sorptions an synthetischen Kaolinit-Huminstoff-Sorbaten wurden fortgeführt ([U(VI)]:  $1 \cdot 10^{-6}$  M, I: 0.01 M NaClO<sub>4</sub>, pH 3-10, S/L: 4 g/L). Es bestätigte sich, dass die in den Sorbaten enthaltenen Huminstoffe die U(VI)-Sorptions im pH-Bereich 3 – 5 verstärken, wohingegen bei pH-Werten > pH 5 die Freisetzung von Huminsäuren (HS) zu einer Verringerung der U(VI)-Sorptions führt und zur Mobilisierung von U(VI) beitragen kann. Bei vergleichbarer Huminstoff-Konzentration wurde die U(VI)-Sorptions im ternären System U(VI)-HS-Kaolinit (HS-Zugabe in Lösung) mit der am Kaolinit-Huminstoff-Sorbat verglichen. Dabei wurden Unterschiede in der U(VI)-Sorptions beobachtet, die auf die Bildung gelöster U(VI)-HS-Komplexe zurückzuführen sind.
- Es erfolgten erste zeitaufgelöste laserinduzierte Fluoreszenzmessungen zur Charakterisierung von U(VI)-Oberflächenkomplexen an Kaolinit ([U(VI)]:  $1 \cdot 10^{-5}$  M, pH 5.5 – 8.0, I: 0.1 M NaClO<sub>4</sub>, S/L: 4 g/L). Die bisherige Auswertung der Fluoreszenzabklingkurven weist auf das Vorhandensein von zwei unterschiedlichen U(VI)-Spezies hin.
- Erste Untersuchungen zur Np(V)-Sorptions an Kaolinit KGa-1b in An- und Abwesenheit von HS wurden durchgeführt ([Np(V)]:  $1 \cdot 10^{-5}$  M,  $9.6 \cdot 10^{-7}$  M, [HS]: 0 bzw. 50 mg/L, pH 6 - 11, I: 0.1 M NaClO<sub>4</sub>, S/L: 4 g/L, CO<sub>2</sub>-frei). Die Ergebnisse zeigten eine Verringerung der Np(V)-Sorptions durch Gegenwart von HS bei pH-Werten > pH 9.5.
- Die Diffusionsversuche zum HS-Transport im Laborsystem Kaolinit-Wasser wurden fortgeführt und das Diffusionsverhalten von U(VI) in Abwesenheit und Gegenwart von HS untersucht ([U(VI)]:  $1 \cdot 10^{-6}$  M, [HS]: 0 bzw. 12 mg/L, pH 5, I: 0.01 M NaClO<sub>4</sub>). Der HS-Transport wird vor allem durch Koagulations- und Größenausschlusseffekte bestimmt. Sorptionsprozesse spielen eine untergeordnete Rolle. Im Vergleich zum advektiven System (Säulenversuche im System Quarzsand-Wasser) wurde kein mobilisierender Effekt von HS auf die U(VI)-Migration beobachtet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Synthese und spektroskopische Charakterisierung stickstoffhaltiger Modell-HS
- Fortführung der EXAFS-Auswertung von U(VI)-HS-Kaolinit-Sorbaten (Zusammenarbeit mit der Universität Mainz)
- Fluoreszenzspektroskopische Charakterisierung von U(VI)-Oberflächenspezies an Kaolinit in Abwesenheit und Gegenwart von HS
- Untersuchung der U(IV)-Komplexierung durch Huminstoffe
- Untersuchung der U(VI)-Komplexierung mit N-haltigen Modellverbindungen
- Untersuchung des Einflusses von pH und Porosität auf die HS-Diffusion
- Untersuchungen zur Redoxstabilität von Np(IV) in Gegenwart von HS
- Weiterführung der Experimente zur Np(V)-Sorptions an Kaolinit KGa-1b in Abwesenheit und Gegenwart von HS (Variation des pH-Wertes, CO<sub>2</sub>-Anwesenheit)
- Laufende Aktualisierung der digitalen Huminstoff-Komplexierungs-Datenbank

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Sachs, S., Schmeide, K., Reich, T., Brendler, V., Heise, K.H., Bernhard, G.: EXAFS Study on the Neptunium(V) Complexation by Various Humic Acids under Neutral pH Conditions. *Radiochim. Acta* **93**, 17-25 (2005).

Sachs, S., Bernhard, G.: NIR Spectroscopic Study of the Complexation of Neptunium(V) with Humic Acids: Influence of Phenolic OH Groups on the Complex Formation. *Radiochim. Acta*, **93**, 141-145 (2005).

Schmeide, K., Reich, T., Sachs, S., Brendler, V., Heise, K.H., Bernhard, G.: Neptunium(IV) Complexation by Humic Substances Studied by X-ray Absorption Fine Structure Spectroscopy. *Radiochim. Acta* **93**, 187-196 (2005).

|   |   |   |
|---|---|---|
| <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<br>- 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>316.197,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Beck               |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im o. a. Forschungsprojekt wird stellvertretend für radiotoxische Nuklide die Komplexbildung der Lanthaniden Eu und Gd mit Huminsäure untersucht, um die Möglichkeit der Endlagerung von Radionukliden in Tonformationen zu überprüfen. Dabei wird auch der Einfluss natürlich vorhandener Konkurrenzkatonen wie Ca, Mg oder Al berücksichtigt. Neben der Interaktion von Metall und Huminsäure unter natürlichen Bedingungen muss zusätzlich der Einfluss von kolloidal gebundenem Metall beachtet werden. Diese komplexen Vorgänge spielen im Hinblick auf eine Bewertung der Endlager-sicherheit eine große Rolle, da das kolloidal gebundene Metall geologische Schichten ohne nennenswerte Retardation durchdringen kann. Eines der wichtigsten Ziele des Projektes soll daher die Entwicklung einer geeigneten Speziationsanalytik sein. Diese muss in der Lage sein, 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):

Bei der Untersuchung des Systems Schwermetall-Huminsäure wird der Schwerpunkt der Arbeit bei der Untersuchung der Komplexbildung zwischen Schwermetall und Huminsäure liegen. Hierbei soll sowohl der Einfluss der Konditionierung als auch der geochemischen 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.

AP 3: Das System Metall-Kaolinit (binäres System III)

Für das dritte binäre System Metall-Kaolinit sollen pH-edges sowie Adsorptions- und Desorptionsexperimente von Eu und Gd mit Kaolinit durchgeführt. Außerdem soll der Einfluss von Ca, Mg und Al als Konkurrenzkatonen bestimmt werden.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum konnte die online-Auftrennung und Detektion von freiem Metall und Metall-Humat-Komplexen mittels Kopplung von Kapillarelektrophorese und ICP-MS (CE-ICP-MS) weiter optimiert werden. Aufgrund der dadurch erreichten sehr guten Nachweisempfindlichkeit konnten unterschiedliche Metall- bzw. Metall-Humat-Spezies nebeneinander nachgewiesen werden.

Durch eine chemische Markierung der Huminsäure mit Jod (Jodierung der aromatischen Ringstruktur) als ICP-MS Marker konnte simultan zu den Metall-Spezies auch die Huminsäure mittels ICP-MS detektiert werden.

Im binären System Metall-Kaolinit wurden die Adsorptionsisothermen von Eu und Gd mit Kaolinit bei pH 5 bestimmt. Es konnte eine Adsorption der Lanthaniden von 0,94 meq/100 g Kaolinit in grundwasserrelevanten pH-Bereichen ermittelt werden.

Die Aufnahme der pH-edges (Metallkonzentration von 500 ppb) ergab eine relativ starke Adsorption von Eu und Gd an Kaolinit über den gesamten pH-Bereich (über 95 % Adsorption zwischen pH 4 und pH 10). Dabei konnte nur ein unwesentlicher Einfluss durch die natürlich vorkommende CO<sub>2</sub>-Konzentration festgestellt werden.

Zusätzlich wurde der Einfluss von Ca, Mg und Al als natürlich vorkommende Konkurrenzkatonen bei pH 5 und je 250 ppb Eu und Gd bestimmt. In grundwasserüblichen Konzentrationsbereichen konnte eine starke Beeinflussung der Eu/Gd-Adsorption vor allem durch Ca und Mg beobachtet werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Aufgrund der aus den Versuchen mit Konkurrenzkatonen erhaltenen Ergebnisse erscheint es notwendig, die bedingt durch die Kaolinit-Auflösung auftretenden Al-Konzentrationen genauer zu bestimmen. Weiterhin müssen Desorptionsexperimente durchgeführt werden, um Erkenntnisse zur Reversibilität der Adsorption der Metalle an Kaolinit zu gewinnen. Nach der weiteren Optimierung der CE-ICP-MS und der Einführung einer HPLC-ICP-MS-Kopplung als Alternativ-Methode soll die Untersuchung des ternären Systems in Angriff genommen werden.

### 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.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 1.1: Koordinationsvergleich bei Uranyl(VI)-Carboxylaten in Lösung

AP 1.2: Uranyl-Komplexierung mit aromatischen Carboxylaten in der Gasphase

AP 1.3: Uranyl-Komplexierung mit alkoholischen Gruppen in Lösung

In AP 1.1 wurden solvatisierte Uranylkomplexe mit aliphatischen Carboxylaten in Ergänzung zu bisherigen Ergebnissen ohne Symmetrie berechnet. Dies führt bei monodentater Koordination zu einer signifikanten Relaxierung der Hydrathülle und zur Bildung pseudo-verbrückter Komplexe, die durch starke intramolekulare H-Brücken stabilisiert werden. Bei bidentater Koordination sind Effekte der Symmetrierniedrigung vernachlässigbar. Aufbauend auf diesen neuen Ergebnissen

wurden thermodynamische Korrekturen zur Energetik der Monocarboxylate (in mono- und bidentater Koordination) mittels einer vollständigen Normalkoordinatenanalyse berechnet. Energetisch, also ohne Korrekturen, ist die monodentate Koordination bei allen Komplexen aufgrund der stabilisierenden H-Brücken bevorzugt, und zwar um etwa 30–40 kJ/mol. Beiträge der Nullpunktsenergie und vor allem Entropieeffekte aufgrund des bei bidentater Komplexierung zusätzlich frei werdenden Aqua-Liganden führen für Acetat und Propionat hingegen zu bevorzugt bidentater Koordination (ca. 10–20 kJ/mol stabiler als monodentat). Differenzen zwischen Experiment und Rechnung sind Gegenstand einer im Juli geplanten Arbeitsbesprechung mit Prof. Reich, Universität Mainz.

In AP 1.2 wurden die Untersuchungen mit Benzoat auf aromatische Carboxylate in der Gasphase erweitert. Im Vergleich mit aliphatischen Carboxylaten ergaben sich für Benzoat keine signifikanten Strukturunterschiede, weder bei bi- noch bei monodentater Koordination. Die entsprechenden energetischen Ergebnisse zeigen eine etwas geringere Stabilität der aromatischen Komplexe. Substitutionen der Benzoesäure leiten zu AP 2.1 über und erlauben erste Einblicke in sterische Effekte von Seitengruppen auf die Actinoidkomplexierung. Berechnungen solvatisierter Komplexe sind in Vorbereitung.

In AP 1.3 wurden Berechnungen zur Koordination von Uranyl an aliphatische Alkohole und Alkoholate weitergeführt. Dabei wurden zum einen Solvatationseffekte für aliphatische Spezies bestimmt, zum anderen wurde Phenol als aromatischer Alkohol untersucht. Phenol zeigt die geringste endotherme Deprotonierungsenergie der bisher untersuchten Alkohole, in Übereinstimmung mit experimentellen  $pK_s$ -Werten. Für verschiedene Alkohole und Carbonsäuren wurde eine Korrelation zwischen Deprotonierungsenergien und  $pK_s$ -Werten erstellt. Die experimentellen Trends der Azidität verschiedener Gruppen werden richtig wiedergegeben. Somit ist es möglich,  $pK_s$ -Werte von Komplexen abzuschätzen. Analog zur Gasphase zeigt sich, dass eine Komplexierung von Alkoholen an Uranyl und die anschließende Deprotonierung exotherm verlaufen, wenn in den Modellen explizit H-Brücken berücksichtigt werden. Damit scheint für die Bildung von Uranylalkoholat-Komplexen bei niedrigeren pH-Werten eine vorausgehende Deprotonierung nicht zwingend notwendig zu sein. In diese energetischen Betrachtungen sollen im Weiteren thermodynamische Korrekturen einbezogen werden. Erwartungsgemäß sind die Alkoholate deutlich stärker an Uranyl gebunden als Alkohole, was sich in einer sehr kurzen U-O-Bindung zum Alkoholat widerspiegelt. Strukturell sind Alkoholatkomplexe vergleichbar mit monodentaten Uranyl-Carboxylaten. Bemerkenswerterweise ist die Bildungsenergie bei aliphatischen Alkoholaten deutlich größer (um etwa 100 kJ/mol) als bei Phenolat und Carboxylaten.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP 1.1: Berechnung thermodynamischer Korrekturen, Variationen der Solvatationshülle
- AP 1.2: Solvatationseffekte bei der Uranyl-Komplexierung mit aromatischen Carboxylaten; Substituenteneffekte an aromatischen Carboxylaten.
- AP 1.3: Berechnung thermodynamischer Korrekturen für Alkohol-Komplexe des Uranyls, Dialkohole (Chelatkomplexe).
- AP 2.1: Sterische Effekte bei Uranylcarboxylaten anhand substituierter Benzoate.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- S. Krüger, F. Schlosser, N. Rösch: “Monocarboxylate complexes of Uranyl: A relativistic density functional study“, eingereicht.
- F. Schlosser, S. Krüger, N. Rösch: “A density functional study of uranyl monocarboxylates“, eingereicht.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

Mit Hilfe eines Schwingquarzsystems wurde die Adsorption von Huminsäure zunächst auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -beschichteten Sensoren untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die vom Hersteller gelieferten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schichten nicht die geforderten Spezifikationen erfüllten. So wurde beobachtet, dass bereits der Kontakt mit Wasser bei einem pH-Wert von 5.5 die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schichten innerhalb weniger Stunden vollständig von der Oberfläche ablöst. Die hiermit verbundenen Signaländerungen sind so stark, dass selbst auf kurzen Zeitskalen keine aussagekräftigen Adsorptionsexperimente mit Huminsäure durchgeführt werden konnten. Der gleiche Effekt trat auch bei Kontakt der Sensoroberfläche mit Salzlösungen auf. Zwei mittlerweile vom Hersteller gelieferte Sensorelemente zeigten eine deutlich verbesserte Stabilität. Ab Anfang August sollen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Sensoren mit stabiler Beschichtung in ausreichender Anzahl zur Verfügung stehen, um die Experimente fortzusetzen.

Um trotz dieser unvorhersehbaren Wartezeiten die Entwicklung der Technologie voranzutreiben, wurden Adsorptionsexperimente mit Huminsäure an carboxy- und anschließend an  $\text{SiO}_2$ -terminierten Oberflächen durchgeführt. Für carboxy-terminierte Sensoren wurde innerhalb einer Stunde eine Signalabnahme von ca. 4 Hz beobachtet, wenn die Oberfläche einer Huminsäurekonzentration von 20 mg/l (pH 6) ausgesetzt wurde. Dies entspricht einem Schichtdickenzuwachs von etwa 0.2 Å und deckt sich größenordnungsmäßig mit ellipsometrischen Messungen, die unter den gleichen experimentellen Bedingungen eine Adsorbatschicht von 0.4 Å ergaben. Die Untersuchungen legen den Schluss nahe, dass die Huminsäure nur schwach an die Oberfläche gebunden ist und bei Spülen mit reinem Wasser weitgehend wieder desorbiert.

Systematische Studien mit  $\text{SiO}_2$ -beschichteten Sensoren belegen, dass die Resonanzfrequenz der Sensoren auch ohne Huminstoffzugabe durch die Ionenstärke der Lösung beeinflusst wird. Dieser Effekt muss bei der Planung und Auswertung von Adsorptionsexperimenten berücksichtigt werden. Wie die Untersuchungen zeigen, wirken sich Änderungen der Ionenstärke ab Konzentrationen von etwa  $10^{-4}$  M deutlich auf das Messsignal aus. Änderungen des pH-Wertes im Bereich von 4 bis 9 führen hingegen zu keinen detektierbaren Verschiebungen. Erste konzentrationsabhängige Messungen mit Huminsäure ergaben für  $\text{SiO}_2$ -Oberflächen klar detektierbare und weitgehend reversible Molekülanlagerungen für eine Huminsäurekonzentration von 50 mg/l. Für Huminsäurekonzentrationen von 100 mg/l konnten hingegen keine Adsorptionsprozesse beobachtet werden. Dies ist unter Umständen durch Aggregation der Huminsäuremoleküle bedingt (siehe Avena et al., Environ. Sci. Tech. 1999, 33, 2719).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Es ist geplant, die Wechselwirkung von Huminsäure mit  $\text{SiO}_2$ -Oberflächen mit Hilfe von Schwingquarzsensoren detailliert zu untersuchen. Dazu soll die Sorption der organischen Moleküle an die Modellmineraloberfläche in Abhängigkeit von pH-Wert, Ionenstärke und der Konzentration des Humats quantifiziert werden. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen soll zudem auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -beschichtete Schwingquarze zurückgegriffen werden, sobald diese zur Verfügung stehen. Im Anschluss an die Untersuchung des binären Systems Mineraloberfläche/Huminsäure, wird als weitere Komponente ein dreiwertiges Lanthanid in das System eingebracht und versucht werden, die komplexen Reaktionen in dem ternären System Metallion/Mineraloberfläche/Huminsäure auf molekularer Ebene zu verstehen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Es liegen noch keine Veröffentlichungen vor.

|   |  |   |
|---|--|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.063.543,00 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 niedrigrisalinaren 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: Die Arbeiten zur Implementierung einer Zeitschrittsteuerung wurden begonnen. Dazu wurden zusätzliche Übergabeparameter zwischen EQLINK und dem aufrufenden Programm definiert. Die Datenstruktur innerhalb von EQLINK wurde für die Handhabung und die Speicherung vorangegangener Rechenergebnisse angepasst. Ferner wurde EQLINK so angepasst, dass es, abhängig vom aktuellen System, das Rechenergebnis eines früheren Zeitschritts als Startwert für die neue Rechnung übernimmt. Dadurch wird die intern in CHEMAPP ablaufende Schätzroutine für das thermodynamische Gleichgewicht übersprungen. Dies führt zu einer Rechenzeiterparnis von (schätzungsweise) bis zu 30 %. Andere Änderungen von EQLINK betrafen ein besseres Fehlerhandling, wenn thermodynamische Rechnungen fehlschlagen.

Es ist jetzt möglich, aus der Datenbasis, die prinzipiell erst mal ALLE Daten enthält, jene Daten zu extrahieren, die Systemkomponenten (in EMOS = Elemente) betreffen, die in der aktuellen

Transportrechnungen tatsächlich auftauchen. Diese Verkleinerung der Parameterdatei für CHEMAPP erbrachte ebenfalls eine Rechenzeiterparnis.

CHEMAPP: Das Programm wurde so abgeändert, dass es Reaktionen mit Wasserverbrauch ohne Probleme modellieren kann.

EMOS: LOPOS ist mit einem zweiten Verfahren zur Berechnung des radioaktiven Zerfalls ausgestattet worden. Dieses erlaubt u. a. die Berücksichtigung mehrerer Produkte eines Zerfalls. Die notwendigen Datenstrukturen und Schnittstellen zu deren Initialisierung wurden implementiert. Das Verfahren ist optional zum klassischen Verfahren verwendbar. Das Verfahren wurde getestet. Die Einführung der geochemischen Modellierung erfordert, dass neben den bisher ausschließlich betrachteten Schadstoffinventaren die chemische Zusammensetzung u. a. von aus dem Deckgebirge einströmender Lauge und entweichender Gase berücksichtigt wird. Dazu notwendige Datenstrukturen und Schnittstellen sind realisiert worden. Die LOPOS-seitige Schnittstelle zum geochemischen Modul EQLINK wurde vervollständigt. Die zur Initialisierung und Ausgabe der Datenströme erforderlichen Schnittstellen wurden realisiert. Die Ergebnisse der geochemischen Rechnungen fließen in das Modell der Strömungsberechnung in LOPOS ein. Dies führt derzeit noch nicht zu befriedigenden Ergebnissen. Es wurden mehrere Testfälle erstellt. Ausgehend von Einkammermodellen werden zur Zeit Systeme aus mehreren Kammern auf einer Sohle modelliert, um die Auswirkungen auf das Strömungsverhalten zu testen.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

EQLINK: Es wird eine Routine eingebaut, die bewirken wird, dass nicht mehr in jedem Zeitschritt eine thermodynamische Rechnung durchgeführt wird. Dies wird zu sehr erheblichen Rechenzeiteinsparungen führen.

CHEMAPP: Das Programm wird dahingehend erweitert, dass es temperaturabhängige Dichteberechnungen für gesättigte Salzlösungen vornehmen kann. Es wird ein Datenmodell für die kombinierte Anwendung von Parametern des HKF-Formalismus<sup>1</sup> und Pitzer-Parametern für die Dichteberechnung<sup>2</sup> erstellt. Vergleichsrechnungen mit EQ36 bzw. PHREEQC werden durchgeführt, um die Übereinstimmung für Rechnungen mit den Daten für Radionuklide vom INE bzw. aus der PSI/NAGRA-Datenbasis zu testen.

EMOS: Zur Zeit findet eine Erweiterung der Strömungsberechnung in LOPOS statt. Diese soll den Einfluss fester, flüssiger und gasförmiger Phasen auf die Strömung berücksichtigen. Die Einbindung der für LOPOS entwickelten Schnittstelle in das EMOS-Paket GRAPOS ist geplant. Diese ist mit geringerem Aufwand als in LOPOS zu realisieren, da in GRAPOS keine Strömungsberechnung existiert und der Schadstofftransport rein diffusiv vonstatten geht.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

---

1 Shock, E. L.; Helgeson, H. C. (1988): Calculation of the thermodynamic properties and transport properties of aqueous species & equation of state predictions to 5 kb and 1000 °C, *Geochim. Cosmochim. Acta* (52), 2009-2036.

2 Krumgalz, B. S.; Pogorelskii, R.; Sokolov, A.; Pitzer, K. S. (2000): Volumetric ion interaction parameters for single-solute aqueous electrolyte solutions at various temperatures, *J. Phys. Chem. Ref. Data* (29,5), 1123-1140.

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <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 30.06.2006  |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <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 so genannten Opalinustons sowie im Niedersächsischen Becken in den Unterkreide-Tonen und in einem Teil der Jura-Tone. Im Berichtszeitraum wurde die geologische Situation inklusive der Temperaturgeschichte der Tonformationen im Niedersächsischen Becken detailliert untersucht. Basierend auf diesen Informationen wurde ein erster geeigneter Modellstandort für diese Region festgelegt und ein entsprechendes geologisches Modell als Auslegungsgrundlage generiert.

Eine weitere Auslegungsgrundlage stellen die thermophysikalischen Gesteinsparameter der Tonformationen dar. Aus diesem Grund wurden sowohl eine intensive Literaturrecherche als auch Labormessungen an Bohrkernen der Unterkreide durchgeführt. Diese Labormessungen wurden in einem gesonderten internen Bericht dokumentiert. Bestimmt wurden die Wärmeleitfähigkeit, die Temperaturleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität sowie der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient der Proben. Sämtliche Werte wurden in Abhängigkeit der Temperatur aufgenommen. An Einzelfällen wurde die Abhängigkeit vom Wassergehalt bestimmt. Darüber hinaus wurden Messungen sowohl parallel als auch senkrecht zur Schichtung durchgeführt um den Anisotropiefaktor zu bestimmen. Basierend auf diesen Informationen wurden Eingangsparameter für die Modellberechnungen festgelegt. Informationen zum Temperaturfeld im Untergrund wurden der Literatur entnommen.

Es wurde begonnen, für das Konzept der Bohrlochlagerung die Mindestabkühlzeiten einzelner Abfallbehälter zur Einlagerung in der Referenzformation zu berechnen sowie die Mindestabstände der Behälter innerhalb einer Bohrung.

### **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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <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.

Es wurde versucht, einen Vergleich der Messergebnisse der faseroptischen Sensoren mit den von ANDRA und SKB verwendeten Sensoren durchzuführen. Dieser Vergleich ist insofern nicht ganz einfach, da die elektrischen und optischen Sensoren nicht an gleichen Positionen eingebaut sind. Auf Grund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Bentonit stellen sich beispielsweise im Zuge der Erhitzung starke Temperaturgradienten in der Bentonitdichtung ein, so dass bereits kleine räumliche Differenzen große Temperaturunterschiede bedingen. Setzt man eine hohe Homogenität des Bentonit voraus, so lassen sich zumindest Temperatursensoren in vergleichbaren radialen Distanzen zum Erhitzer zu Vergleichszwecken verwenden, sofern sie sich in der vertikalen Position nicht allzu sehr unterscheiden. Eine erste so durchgeführte Analyse ergab Differenzen in den gemessenen Temperaturen, die auch nach Herausrechnen der positionsbedingten Unterschiede noch verbleiben. Eine Erklärung dafür konnte in der Einbausituation gefunden werden. Die optischen Temperaturgitter befinden sich innerhalb des Metallgehäuses der Drucksensoren (sie sollten dort zu Kompensationszwecken dienen). Da die Sensorgehäuse nicht exakt parallel zur Erhitzeroberfläche eingebaut sind, bedingt die höhere Wärmeleitfähigkeit des Metalls im Vergleich zum Bentonit einen erhöhten radialen Wärmetransport entlang des Gehäuses und damit eine höhere Temperatur am optischen Gitter als beim Wärmetransport durch reinen Bentonit zu erwarten gewesen wäre. Dieser erste Vergleich wurde in einem kurzen Bericht dokumentiert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Kontinuierliche Erfassung und Analyse der Messdaten in beiden Versuchen.
- Regelmäßige Überprüfung und Wartung des Mess-Systems.
- Weiterentwicklung des numerischen Computermodells zur versuchsbegleitenden Modellierungen der thermo-hydro-mechanischen Prozesse innerhalb des Buffer-Materials.

### **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 31.07.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

- Untersuchungen zum Sorptionsverhalten ( $K_D$ -Werte, Kinetik) des hydrodynamischen PET-Tracers ( $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ -Komplex) an den Mineralkomponenten von Granitproben des Untertagelabors ÄSPÖ durch autoradiographische Messungen.  
Ergebnis: Erweiterte Datenbasis zur Interpretation von PET-Messungen zum lokalen Wasser- und Stofftransport in granitischen Formationen.
- Hydraulische Vorversuche zu den räumlich aufgelösten Transportmessungen an einer vom INE (FZK) hergestellten Säule, die einen Granitbohrkern aus dem Untertagelabor ÄSPÖ mit durchgehender Kluft enthält.  
Ergebnis: Konzeption eines Versuchsstandes mit Spezialpumpe und Rückdruckrestriktor zum stabilen Betrieb bei geringen Flussraten und unterschiedlichen Drücken.
- Abschluss der hydraulischen Tests und Optimierung der Hochdruckmigrationsanlage für PET-Untersuchungen zur Matrixdiffusion in kompakten Granitbohrkernen bei unterschiedlichen Drücken.
- Entwicklung einer Konzeption zur Streuungs- und Absorptionskorrektur für die Bildrekonstruktion bei Messung granitischer Proben am GEO-PET.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- PET-Messungen zur Untersuchung des lokalen Fluidtransports im granitischen Bohrkern mit Kluft.
- PET-Messungen zur Matrix-Diffusion in Abhängigkeit vom Fluiddruck.
- PET-Untersuchungen zum lokalen Kolloidtransport in granitischen Klüften.
- Anpassung der Verfahren der quantitativen Bildauswertung zur Ermittlung von Daten zur Validierung und Parameterbestimmung der Transportmodelle

### 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

In diesem Vorhabenszeitraum wurde innerhalb der Arbeitspakete I, II und III, folgendes Thema bearbeitet:

*Einfluss von Huminsäure auf die Inkorporation von dreiwertigen Actiniden (An(III)) in Hydroxy-Aluminosilicat(HAS)-Kolloiden*

In unseren früheren Arbeiten haben wir die Bedingungen für die Bildung von stabilen HAS-Kolloiden durch Conukleation von Si und Al und die irreversible Bindung von An(III) in der Aluminosilicatstruktur mit der Bildung von stabilen HAS-Pseudokolloiden von An(III) beschrieben. Gegenstand der Arbeiten, die in diesem Vorhabenszeitraum durchgeführt wurden, ist die Prüfung der Übertragbarkeit der genannten Ergebnisse auf reale Systeme, die neben anorganischen auch organische Komponenten, wie z. B. Huminsäure beinhalten. Zu diesem Zweck wurde die gereinigte <sup>14</sup>C-markierte Huminsäure Gohy-573 eingesetzt.

Zunächst wurde analysiert, unter welchen Bedingungen <sup>14</sup>C-Huminsäure(HA) stabile Huminkolloide, bzw. in Anwesenheit von An(III) und Al, stabile Pseudokolloide bildet. Dazu wurden die Einflussparameter pH, Konzentration bzw. Konzentrationsverhältnis von HA, Al und An(III), sowie Konditionierungszeit, in einem Screeningsexperiment variiert.

Danach wurden in dem bekannten ternären System, Al/An(III)/Si, Parameter-Bedingungen gesucht, die zwar eine Bindung von An(III) an HAS sicherstellen, aber dennoch, aufgrund minimaler Löslichkeit der Aluminosilicate, zu einer geringen Pseudokolloidbildung von An(III) führen, z. B. im neutralen pH-Bereich (pH 6,5-7,5).

Weiter wurde im quaternären System, Al/An(III)/Si/<sup>14</sup>C-HA, eine Konkurrenz zwischen HAS und Huminsäure zur Pseudokolloidbildung von An(III) ermöglicht. In einem ausgedehnten Screeningexperiment wurde die Aktivitätsverteilung von <sup>241</sup>Am und <sup>14</sup>C-HA in der gelösten, kolloidalen und festen Phase, unter Variation der relevanten Einflussparameter (pH, Konzentration bzw. Konzentrationsverhältnis von Si, Al, HA, Reihenfolge der Komponenten-Zugabe, Konditionierungszeit) bestimmt.

Schließlich wurden in ausgesuchten Gebieten des Screeningbereichs TRLFS (Time-Resolved-Laser-Fluorescence-Spectroscopy)-Analysen ausgeführt mit einer Methode, die eigens für die selektive Detektion von organischen Cm(III)-Komplexen entwickelt wurde. Sie basiert auf der Cm-Anregung durch unterschiedliche Wellenlängen. Bei einer Wellenlänge wird zunächst die HA angeregt, die ihre Energie intramolekular auf Cm überträgt. Bei einer anderen Wellenlänge wird Cm sowohl direkt als auch indirekt angeregt.

Der Vergleich der Ergebnisse von den Screeningexperimenten einerseits und den TRLFS-Untersuchungen andererseits an den drei Systemen: Al/An(III)/HA, Al/An(III)/Si und Al/An(III)/Si/HA, die die Bildung von Pseudokolloiden von An(III) durch Humin-, bzw. durch HAS-, bzw. sowohl durch Humin- als auch durch HAS-Kolloiden ermöglichen, zeigt folgende Liganden-Bindungsaffinitätsreihe für Al bzw. An(III):

Monosilicysäure < Polysilicysäure  $\cong$  Huminsäure

und lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Anwesenheit von HA im Grundwasser während der Bildung von HAS-Kolloiden, die Pseudokolloidbildung von An(III) begünstigt. Abhängig von den Parameterbedingungen entstehen entweder Humin- oder Aluminohumat-silicat-Kolloide durch Mischkomplexierung. Die Entstehung von Kolloid-Hybriden erweitert den Kolloid-Stabilitätsbereich und erhöht somit die Möglichkeit der kolloidalen Migration von dreiwertigen Actiniden.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

*AP(I) und AP(II):*

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 im Wasser stets vorliegenden Elementen (Kationen, anionische Liganden) sowie organischen Bestandteilen werden miteinbezogen.

*AP(III):*

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 und F- 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 silanol (silicic acid)": *Radiochim. Acta*, 93 (2005) 134-139.
- [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), in preparation.
- [4] 1. Fachgespräch zur Radionuklidmigration: aktueller Stand in der Endlagersicherheitsforschung, Karlsruhe (2005): M.A. Kim: "Von Grundwasser-Komponenten bis zur kolloidalen Actinid-Migration".

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.015.143,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Zhang                    |  |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die französische Endlagerorganisation ANDRA wird in den nächsten drei Jahren einen Aufheizversuch im Mt. Terri Untertagelabor zur Simulation der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle durchführen. 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 bietet sich die Möglichkeit, an der Erprobung von Messsonden teilzunehmen und speziell entwickelte Porendruck-Messsonden im Vergleich zu anderen Sonden zu erproben bzw. zu qualifizieren.

Durch orientierende Untersuchungen der advektiven Gasmigration in der Erhitzerumgebung kann der Frage nachgegangen werden, ob sich durch die Aufheizung eine erhöhte Durchlässigkeit des Gebirges durch 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: An Proben des Opalinuston (Mont Terri) und des Callovo-Oxfordian-Ton (Bure) wurden bei unterschiedlichen Temperaturen von 23 bis 90 °C und Axialbelastungen von 0.7 bis 14 MPa 6 einaxiale Kriechversuche durchgeführt. Jede Temperaturerhöhung bewirkte eine kurzzeitige Expansion und dann einen Anstieg der Kriechverformung. Im Gegenzug wurden bei Abkühlung von 60 °C auf 38 °C eine deutliche Kompression und ein Auslaufen der Kriechverformung beobachtet. Außerdem wurde auch eine deutliche Auswirkung von Entsättigung und Aufsättigung auf das mechanische Verhalten des Tonstein beobachtet: Schrumpfung bei Entsättigung und Quellung bei Aufsättigung.

Der geplante große Aufheizversuch an einem Tonkern (D/L=260/700mm) aus der HE-D Erhitzebohrung wurde im Juni gestartet. 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 den kontrollierten Randbedingungen wird die Probe durch Erhöhung der Temperatur in der Triaxialzelle bis zu 100 °C aufgeheizt. Danach folgt eine Abkühlungsphase auf 30 °C. Der Versuch wird etwa 3 Monate dauern.

In-Situ-Messungen: Während der 2. Aufheizphase (Beginn Juni 2004, Heizleistung 1950 Watt) wurde die Auswirkung der verstärkten Aufheizung auf den Porenwasserdruck und die Temperaturen im Gebirge mittels der von GRS entwickelten Minipacker-Messsysteme in unterschiedlicher Entfernung zum Erhitze erfasst. Seit der Erhitzeabschaltung im März 2005 fallen Druck und Temperatur an allen Messstellen kontinuierlich ab. Es gibt keine plötzlichen Druckentlastungen und somit keine Hinweise auf abkühlungsbedingte Rissbildungen.

In den Messintervallen zur Ermittlung der Gaspermeabilität stiegen die Fluiddrücke infolge Gebirgskonvergenz, Wasserfreisetzung und Gasfreisetzung ebenfalls bis zum Abschalten der Erhitze an. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte sich noch kein stabiler Druckzustand eingestellt. Seit Abschalten fallen die Drücke kontinuierlich mit geringer Rate wieder ab. Daraus kann gefolgert werden, dass der Druckabfall primär temperaturbedingt ist.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- (a) Fortführung und Auswertung des Aufheizversuchs am Großkern
- (b) Abschluss der Porenwasserdruckmessungen und In-situ-Messung des Gaseintrittsdrucks und der Gaspermeabilität, sobald die Druckmesswerte stabil sind
- (c) Weitere Modellrechnungen zur Interpretation des TER-MOCK-UP-Experiments

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Zhang, C.-L., Rothfuchs, T., Su, K., Hoteit, N.: Experimental Study of the thermo-hydro-mechanical behaviour of indurated Clays.

Kull, H., Jockwer, N., Zhang, C.-L., Wileveau, Y., Pepa, S.: Measurement of thermally-induced pore-water pressure increase and gas migration in the Opalinus Clay at Mont Terri.

Jeweils 2<sup>nd</sup> International Meeting of Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, Tours, March 14-18, 2005

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>475.000,00 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 BMWA-Förderkonzeptes „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2002- 2006)“.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

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

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

Im Berichtszeitraum (1. Halbjahr 2005) wurden insbesondere Teilleistungen aus AP2 (Erarbeitung von Einzelbeiträgen und Hauptkapiteln) erbracht. Zu den Kapiteln „Wirtsgesteine“, „Planung, Bau, Betrieb und Verschluss von geologischen Endlagern“ und „Sicherheitsrelevante Gesteins-/Formationseigenschaften“ wurden Textentwürfe neuer Unterkapitel hinzugefügt sowie notwendige Aktualisierungen vorgenommen. Eine Analyse der Bibliotheksbestände an FuE-Berichten hat gezeigt, dass die Mehrzahl der Publikationen, welche diesen Kapiteln zuzuordnen sind, bei BGR, GRS und Nagra erstellt worden sind. Darüber hinaus stammen Kapitel-relevante Forschungsberichte insbesondere aus den Institutionen GSF, FZK, DBE, PTB/BfS sowie mehreren Hochschulen. Sämtliche Dokumente sind auf einer gemeinsam zu nutzenden QuickPlace-Kommunikations-Plattform eingestellt. 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 2. Halbjahr 2005 ist vorgesehen, einen ersten Entwurf aller Teilkapitel fertig zu stellen, so dass in 2006 die Zusammenführung und Überarbeitung sämtlicher Haupt- und Teilkapitel erfolgen kann.

### **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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 BMWA-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

Auftragsvergabe an Autoren, Erarbeitung von Teilkapiteln, Abstimmungsgespräche, redaktionelle Überarbeitung, Durchführung Redaktionssitzungen, unabhängiges Qualitätsmanagement.

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 ersten Halbjahr des Jahres 2005 wurden überwiegend Teilleistungen aus AP2 erbracht. Es wurden Textentwürfe zu den Kapiteln 4.3, 7.1, 8.5.4, 9.2.2, 9.5 sowie 8.2.2 erstellt und in die gemeinsam genutzte Kommunikations-Plattform "Quick-Place" eingestellt. Außerdem wurden erste Textentwürfe der Kapitel 4.2.1, 6.4.3, 9.3.4 und 9.3.5 angefertigt, die jedoch noch nicht über Quick-Place abrufbar sind.

Am 23.05.05 fand ein interner Workshop im Öko-Institut e.V. zur inhaltlichen Abstimmung der Kapitel 2.2, 3.1, 3.3, 4.3, 7.1, 7.6, 8.2.2, 8.5.3 und 9.2.2 statt. In KW 25 wurden im Rahmen eines Treffens in Bonn mit dem BMWA die Inhalte zu Kapitel 4.1 erörtert, für das zuvor Diskussionspapiere zu den Themen Langzeitsicherheit und Wasserrecht verfasst wurden.

Die Literaturrecherche wurde zu sämtlichen Kapiteln fortgeführt; die Ergebnisse wurden zur Eingabe in eine Literaturdatenbank an die GRS in Braunschweig weitergeleitet. Ferner wurden weitere Begriffe in die Glossar-Datenbank eingefügt, die ebenfalls über Quick-Place abrufbar ist.

Die DBE Technology GmbH in Peine wurde vom Projektträger mit der Texterstellung zu Kapitel 7.4 beauftragt. Das Institut für nukleare Entsorgung im Forschungszentrum Karlsruhe wurde vom Öko-Institut e.V. bezüglich der Qualitätssicherung von Kapiteln angefragt und hat sich grundsätzlich zur späteren Qualitätssicherung einzelner Kapitel bereit erklärt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Derzeit befinden sich die Kapitel, die im Rahmen des internen Workshops am 23.05.05 inhaltlich abgestimmt wurden (siehe 3.) in der Überarbeitung. Weiterhin ist vorgesehen, die Textversionen für die Kapitel 2.3, 4.1, 4.2, 6.4.3, 7.6, 8.2.2, 9.1 und 9.3 im dritten Quartal 2005 fertig zu stellen. Auch an den übrigen Kapiteln soll kontinuierlich weitergearbeitet werden. Mit der Texterstellung zu den Kapiteln 6.2, 6.4.4 und 8.2.3 soll ebenfalls begonnen werden.

### **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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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: Die Wasserstoffbildungsrate, als ein Maß für die Korrosionsrate, ist für den unbestrahlten U/Al-Brennstoff nach 50 bis 100 Tagen in Salzlauge und in Tonporenwasser (Mont-Terri Type) beendet. Unter gleichen Versuchsbedingungen umfasst der Zeitraum bis zur vollständigen Korrosion des unbestrahlten  $U_3Si_2$ -Brennstoffes 300 Tage. In dieser Zeit wird eine höhere Menge an Wasserstoff gebildet.
- AP2: Aus den Korrosionsprodukten werden durch Verdünnung und durch Variation der Ionenstärke der umgebenen Salzlauge U und Am mobilisiert. Nach ca. 600 Tagen tritt eine Immobilisierung ein. Dieser Effekt zeigt sich besonders deutlich in der magnesiumchloridreichen Salzlauge und schwächt sich in den Medien mit geringerer Ionenstärke ab.
- AP3: In den Sorptionsversuchen zeigt der Mg-Al-Cl-Hydrotalkit im Vergleich zu den monovalenten Anionen Iodid und Technetat in der magnesiumchloridreichen Lauge gute Rückhalteeigenschaften für das divalente Anion Selinit. Erste Ergebnisse aus den Inkorporationsuntersuchungen mit den Anionen Iodid, Technetat und Selinit in magnesiumchloridreicher Lauge deuten auf quantitative Immobilisierungen aller Spezies hin.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Der Transport bestrahlter  $U_3Si_2$ -Brennelemente wird wahrscheinlich im August 2005 erfolgen, so dass dann damit zu rechnen ist, dass die Auslaugversuche in den Heißen Zellen in Salzlauge, in Tonporenwasser (Mont-Terri Type) und in Granitwasser (Äspö) im Oktober gestartet werden können. Die Auslaugversuche mit dem unbestrahlten U/Al- und  $U_3Si_2$ -Brennstoff werden nun zusätzlich in Äspö-Wasser durchgeführt.
- AP2: Weitere Probenahmen und Klärung der Mobilisierungs- bzw. Immobilisierungsraten.
- AP 3: Die Sorptionsuntersuchungen werden auf endlagerrelevante Radionuklide, die in kationischer Form vorliegen, ausgedehnt. Weiterführung der Inkorporationsuntersuchungen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Eingereicht und angenommen:

H. Curtius, Z. Kattialparampil: Sorption of iodine on Mg-Al-layered double hydroxide, Clays Minerals

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>813.232,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Rübél                    |  |

## 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 in Opalinuston-Formationen (Benken und Mont Terri) und zum anderen Bohrlochversuche aus dem Untertagelabor Mont Terri modelliert.

Im Arbeitspaket 3 wird basierend auf dem Endlagerkonzept aus den BMWA-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. Es wurde eine erste Version zur Berücksichtigung ebener Geometrien fertig gestellt. Weiterhin wurde eine erste Version der Berücksichtigung von Behältergruppen implementiert. Die Weiterentwicklung des Programms  $r^3t$  wurde fortgeführt. Der Schwerpunkt der Entwicklungsarbeiten lag dabei auf der Einführung der elementspezifischen Diffusion und der elementspezifischen Porosität. Die Entwicklungsarbeiten zur Berücksichtigung der anisotropen Diffusion wurden abgeschlossen. Zusätzlicher Entwicklungsbedarf für das Modul  $r^3t$  wurde auf Grund erster Testrechnungen identifiziert. Dies betrifft insbesondere eine Zeitschrittsteuerung für Rechenfälle, bei denen der Transport rein diffusiv erfolgt. Diese Fälle werden durch die bisher implementierten Verfahren nicht abgedeckt.
- AP 2: Es wurden Vergleichsrechnungen von CLAYPOS und  $r^3t$  mit verschiedenen analytischen Rechenfällen sowohl für die radiale als auch für die ebene Geometrie durchgeführt. In allen Fällen zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den analytischen Rechnungen. Für CLAYPOS zeigt sich bei einem Vergleich der beiden implementierten Geometrien mit einer detaillierten zweidimensionalen Modellierung mit  $r^3t$ , dass die Verwendung der radialen Geometrie zur Unterschätzung der Schadstoffkonzentrationen und -flüsse führt und daher für sicherheitsanalytische Rechnungen die ebene Geometrie vorzuziehen ist. Es wurde eine erste Nachmodellierung des Bohrlochexperiments DI-A begonnen, welches die Nagra am Mont Terri durchgeführt hat. Die Modellierung der Spurenstoffkonzentration im Bohrloch mit  $r^3t$  und CLAYPOS ergab eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Daten und den Modellierungen anderer Organisationen. Kofinanzierung FUNMIG: Teilnahme am Kick-off Meeting in Barcelona. Arbeitstreffen in Basel zur Festlegung der Arbeiten im Workpackage 3.3 und der Parameter für das DR-Bohrlochexperiment.
- AP3: Beginn der Sammlung der für eine Sicherheitsanalyse benötigten Daten anhand eines Literaturstudiums.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Weiterführung der Entwicklungsarbeiten am Modul CLAYPOS. Im nächsten Schritt muss die Berücksichtigung elementspezifischer Porositäten und Diffusionskoeffizienten implementiert werden. Weiterhin ist der Beginn der Entwicklungsarbeiten zur Erächtigung von CLAYPOS zur Durchführung probabilistischer Rechnungen geplant.
- AP2: Fortführung der Modellierung des Diffusionsexperimentes DI-A und der Beginn der Simulation natürlicher Isotopenprofile am Standort Mont Terri.
- AP3: Erarbeitung eines Modellkonzeptes für die sicherheitsanalytische Rechnung mit Erstellung der Szenarien. Fortsetzung der Zusammenstellung der benötigten Eingangsdaten.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Präsentation/Abstract für den GEIST Workshop in Peine: A. Rübel, D. Buhmann und U. No-seck: Anwendung sicherheitsanalytischer Instrumentarien für Endlager in Salz- und Tonformationen - Unterschiede und Gemeinsamkeiten

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>191.444,00 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**

An dem ersten Messplatz auf der um 1 m vertieften Sohle sind Messungen zur Bestimmung der Gaspermeabilität und der Gasdiffusion durchgeführt worden. Die Messungen zum advektiven Laugenfluss wurden vorbereitet und sollen im Anschluss an die Messungen zum diffusiven Gasfluss durchgeführt werden.

Gasinjektionstests mit Maximaldrücken von 1 MPa in Tiefen zwischen 0.1 und 0.7 m wurden 2 Monate nach Eintiefen der Sohle durchgeführt. In 10 cm Tiefe unter der neuen Sohle wurden Permeabilitäten um  $10^{-18} \text{ m}^2$  gemessen, ab 30 cm Tiefe lagen sie in der Größenordnung von  $10^{-20} \text{ m}^2$  und darunter. Diese Ergebnisse passen genau in den Bereich der im Projekt BAMBUS II ab 1 m Tiefe gewonnenen Messdaten aus der benachbarten AHE-Strecke. Damit scheint die Entfernung der Sohle nicht zur schnellen Ausbildung einer neuen Auflockerungszone zu führen.

Die Untersuchung zum diffusiven Gasfluss im Salzgestein haben ergeben, dass sich in den verschiedenen Bohrungen die Konzentration der injizierten Tracergase im Beobachtungszeitraum von 6 Monaten sehr stark erniedrigt hat, woraus sich im weitestgehend ungestörten Salzgebirge unrealistisch hohe Diffusionskonstanten ergeben würden. Offensichtlich sind die vergleichsweise geringen Gasmengen auf den Oberflächen der Bohrungen sowie auf der zugänglichen inneren Oberfläche des Salzgesteins weitgehend absorbiert worden. Die Messungen werden daher z. Zt. wiederholt.

Der zweite Messplatz auf der 17 Jahre alten Strecke mit der entsprechenden Auflockerungszone wird z. Zt. installiert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weiterführung der Messungen zur Ermittlung des diffusiven Gasflusses und Laugeninjektionstests am ersten Messplatz.

Herrichtung des zweiten Messplatzes auf der ca. 17 Jahre alten aufgelockerten Sohle.

### **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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>216.140,00 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=75/75mm) aus Bure sind über 8 Monate gelaufen. In den ersten 2,5 Monaten wurde die Permeabilität der Proben mit befeuchtetem Stickstoff unter hydrostatischer Belastung von 1 MPa gemessen. Zwei geschädigte Proben zeigten Permeabilitäten von  $10^{-16}$ – $10^{-17}$  m<sup>2</sup> während die andere geschädigte Probe eine sehr niedrige Permeabilität von  $3 \cdot 10^{-20}$  m<sup>2</sup> wie bei der intakten Probe zeigte. Eine Erhöhung des Außendruckes auf 1,5 MPa bewirkte eine Reduzierung der Permeabilität um einen Faktor 2 – 4. Außerdem nahm die Permeabilität mit der Zeit allmählich ab. Nach der Gasinjektion wurde Tonwasser in die geschädigten Proben unter einem erhöhten Manteldruck von 2 MPa bei Injektionsdrücken von 10 bis 20 bar über weitere 5 Monate zur Aufsättigung bzw. zur Messung der Wasserpermeabilität injiziert. Es wurde jedoch kein Wasseraustritt beobachtet. Im nächsten Schritt wird die zweite Gasinjektion bei einem Druck von 15 bar durchgeführt, um den Gaseintrittsdruck bzw. die Gaspermeabilität der aufgesättigten Proben zu bestimmen.

Außerdem wurde ein Versuch an einer gelochten Probe (D/d/H=80/20/100mm) zur Messung der Gaspermeabilität sowohl in Axial- als auch in Radialrichtung als Funktion der Außenbelastung bis zu 30 MPa gestartet. Die Auswertung wird nach dem Versuch durchgeführt.

Für einen vorgesehenen ALZ-Verheilungsversuch an einem großen Tonkern (D/d/L=260/55/600 mm) wurden zwei Testkonzepte vorgeschlagen und durch gekoppelte THM-Modellrechnungen mit CODE-BRIGHT numerisch prognostiziert. Aufgrund der Prognose soll der große ALZ-Verheilungsversuch in folgenden Schritten durchgeführt werden:

- (a) Erzeugung der Auflockerungszone im gelochten Tonkern durch Bohrung bzw. Erhöhung der Außenbelastung,
- (b) Verfüllung der Zentralbohrung mit Sand und Wiederbelastung,
- (c) Gasinjektion in die verfüllte Zentralbohrung zur Messung der Gaspermeabilität,
- (d) Wasserinjektion in den Spaltraum zwischen Probe und Außengummijacket zur Aufsättigung bzw. zur Messung der Wasserpermeabilität und
- (e) Gasinjektion in die verfüllte Zentralbohrung zur Beobachtung des Gasdruckaufbaus bzw. zur Messung der Gaspermeabilität nach Gaseintritt in die Probe.

Der geplante Versuch wird etwa 6 Monate dauern.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- (a) Weiterführung und Auswertung der ALZ-Verheilungsversuche
- (c) Zwischenbericht über die Vorversuche zur ALZ-Verheilung in Tonstein
- (d) Entnahme von großen Tonkernen aus dem Bure-URL und Vorbereitung des großen ALZ-Verheilungsversuchs

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Deliverable 4.4.2 für NF-PRO RTDC4-WP4.4: Laboratory tests on healing of EDZ – Results from scoping calculations for lab simulation tests on large hollow clay samples. 30.06.2005

|   |   |   |
|---|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>139.100,00 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.

AP 5.2.1: Die GRS trägt zum Arbeitspaket durch Teilnahme an Diskussionen und Mitarbeit an der Dokumentation bei.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten der Komponente 5 des Gesamtprojekts konzentrierten sich im Berichtszeitraum auf die Fertigstellung der Konzeptberichte zu den fünf Referenzsystemen

- abgebrannte Brennelemente, eisenbasierte Behälter, Tonformation,
- hochaktiver Abfall, eisenbasierte Behälter, Tonformation,
- abgebrannte Brennelemente, eisenbasierte Behälter, Granitformation,
- abgebrannte Brennelemente, Kupfer-Eisen-Behälter, Granitformation,
- abgebrannte Brennelemente, eisenbasierte Behälter, Salzformation,

jeweils durch eine der teilnehmenden Organisationen, sowie Vorbereitung und Durchführung erster Modellrechnungen im Rahmen des Arbeitsschrittes 5.1.2. Die Konzeptberichte wurden in ihrer Endfassung fertig gestellt. Weiterhin wurden die Modellrechnungen zu Massenbilanzen und Massenströmen bezüglich aller drei Formationen unter den Projektpartnern abgestimmt und begonnen. Von mehreren Organisationen liegen bereits Berichtsentwürfe vor.

Von Seiten der GRS wurde im Berichtszeitraum der Entwurf des Konzeptberichts zur Salzformation überarbeitet. Dazu fanden verschiedene Diskussionen mit anderen am Projekt beteiligten Organisationen statt, die Arbeiten zum Thema „Salz“ ausführen.

Die von der GRS durchzuführenden und im „Calculation Plan“ vorbereiteten Modellrechnungen wurden begonnen. Im ersten Schritt wurden orientierende, zeitunabhängige Massenbilanzabschätzungen durchgeführt. Diese betreffen:

- Wasserspeicherung und -transport im Nahfeld,
- Sauerstoffverbrauch durch aerobe Korrosion,
- Wasserverbrauch durch anaerobe Korrosion,
- Volumenzunahme durch Korrosion,
- Gaserzeugung durch Korrosion,
- Druckaufbau im Nahfeld.

Die Abschätzungen wurden für die Einlagerungskonzepte

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

durchgeführt. Bei beiden Konzepten werden die Einlagerungsarten „Bohrloch“ und „Strecke“ unterschieden. Für jedes der vier Teilkonzepte wurde eine vereinfachte „Referenzzelle“ entworfen, deren geometrische Abmessungen sich an realen Planungen orientieren. Die Dokumentation der Ergebnisse konnte im Berichtszeitraum noch nicht abgeschlossen werden.

Für den zweiten Schritt der Modellrechnungen sind zeitabhängige Rechnungen mit je einem einfachen gekoppelten Modell für ein Bohrloch und eine Einlagerungsstrecke vorgesehen. Mit der Entwicklung des Bohrlochmodells wurde begonnen. Es wird die oben aufgeführten Effekte umfassen und im Fall der Salzformation zusätzlich die Konvergenz.

Zur Abstimmung der Arbeiten des RTDC5 wurde im Januar 2005 ein Projektmeeting durchgeführt, an dem die GRS teilgenommen hat.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Dokumentation der Bilanzabschätzungen zu den genannten Nahfeldprozessen.

Entwicklung der einfachen gekoppelten numerischen Modelle, mit denen Wechselwirkungen zwischen den Effektbereichen in vereinfachter Form nachvollzogen werden können. Es wird je ein Modell für ein Einlagerungsbohrloch und eine Einlagerungsstrecke entwickelt.

Anwendung der Rechenmodelle auf die vier Teilkonzepte unter Zugrundelegung der „Referenzzellen“. Charakteristische Parameter werden dabei gezielt variiert.

Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Projektinterner Bericht:

DELIVERABLE (D-Nº:5.1.1), Part 4: LONG-TERM SAFETY ASSESSMENT OF THE NEAR FIELD IN ROCK SALT. Reference Concept (Spent Fuel-Carbon Steel-Salt)

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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 31.12.2008   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <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 im Entwurf fertig gestellt und übersetzt. Der Bericht beinhaltet die Ergebnisse des Bewertungsverfahrens zur Auswahl des aussichtsreichsten Gesamtsystems zur Einlagerung von Brennstabkockillen in tiefe vertikale Bohrlöcher. Dabei wurden die Hauptkriterienfelder Sicherheitstechnik, Handhabung, Technik und Wirtschaftlichkeit berücksichtigt.

Im ausgewählten Konzept wird der Transferbehälter über Tage mit einer Brennstabkockille beladen und nach Schacht- und Streckentransport von der über der Bohrlochschleuse positionierten Einlagerungsvorrichtung aufgenommen, aufgerichtet und in das Bohrloch entladen.

Die konzeptionelle Auslegung des Transferbehälters bestehend aus dem Grundkörper und zwei Schleusen ergab eine Gesamtlänge von ca. 5 m, einen Durchmesser von ca. 1,3 m und eine Masse von 40 t. Die Unsicherheit beträgt in dieser Bearbeitungsphase +10 %. Die konzeptionelle Auslegung der Bohrlochschleuse ergab für die Außenabmessungen der Bohrlochschleuse ca. 1,6 x 1,5 m bei einer Masse von ca. 6,5 t. Weiterhin wurde ein vorläufiges Versuchsprogramm für Demonstrationsversuche zum Einlagerungsbetrieb, Versuche zur Behebung von Betriebsstörungen sowie Simulationsversuche zur Auslegungsüberprüfung der Komponenten aufgestellt. Abschließend ist die Technik zur Erstellung der Erkundungs- und Vorbohrung sowie der Erweiterungsbohrung dargestellt.

Die Untersuchungen der zu erwartenden Einwirkungen des Gebirges auf die Brennstabkockille im angestrebten Einlagerungshorizont wurden fortgeführt. Erste Ergebnisse bestätigen, dass die Vorgabe, 300 m tiefer Bohrlöcher von der 870 m-Sohle aus zu nutzen, für die Auslegung der Einlagerungsvorrichtung als abdeckend anzusehen sind.

**AP3:** Mit der Entwurfsplanung zu den Komponenten des Einlagerungssystems interner Transferbehälter, Einlagerungsvorrichtung und Bohrlochschleuse sowie weiterer peripherer Komponenten wurde begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

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

**AP3:** Die Untersuchung der zu erwartenden Einwirkungen des Gebirges auf die Brennstabkockille im angestrebten Einlagerungshorizont wird abgeschlossen. Ebenso wird die Entwurfsplanung zum internen Transferbehälter, Einlagerungsvorrichtung und Bohrlochschleuse beendet. Auf der Basis der Ergebnisse beginnt die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen zu Ausführungsplanung und Fertigung der Komponenten.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>BUTEC Umwelttechnik GmbH, Kölner Straße 6, 65760 Eschborn  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 E 9864</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Selbstheilungseffekte in Tongestein bei hohen Temperaturen – Teilvorhaben WP 4.4 des Integrated Project NF-PRO des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission           |   |   |
| <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 30.06.2005   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>55.680,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Fröhlich                     |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des „Integrated Project NF-PRO“ des 6. EU-Rahmenprogramms soll das Nahfeld eines geologischen Endlagers für hochradioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente untersucht werden. Insbesondere sollen mögliche Veränderungen in der Auflockerungszone infolge der eingelagerten wärmeentwickelnden Abfälle betrachtet werden. Das Ziel dieses Teilvorhabens ist die experimentelle Erarbeitung von Basisdaten zur Selbstheilung von Rissen und Spalten in Ton bei hohen Temperaturen.

Das Vorhaben wird im Rahmen des 6. Rahmenprogramms von der Europäischen Union gefördert.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Beschaffung von Tonproben
- Detailabstimmung des Versuchsprogramms und Festschreibung
- Modifikation vorhandener Versuchseinrichtungen
- Durchführung der Experimente zum Selbstheilungsverhalten von Ton in Abhängigkeit von der Temperatur
- Auswertung, Bewertung und Dokumentation

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Teilnahme und Ergebnispräsentation am 2. RTDC4 Co-ordination Meeting in Paris.
- Teilnahme und Ergebnispräsentation am 2. NFPR-WP4.4 / Co-ordination meeting in Clausthal-Zellerfeld.
- Durchführung und Auswertung eines Versuches mit Isooctan als Messfluid bei Raumtemperatur. Da Isooctan weder mit Ton chemisch reagiert noch Ton löst, kann im Vergleich mit Wasser als Strömungsmedium zwischen mechanischen und geochemischen Selbstheilungsprozessen unterschieden werden. Die Auswertung des Versuches ergab, dass der während der Versuchszeit von ca. 50 Tagen gemessene Abfall der Permeabilität von 1 Dekade reversibel ist. Die nach dem Trocknen der Probe gemessene Gaspermeabilität entsprach in etwa wieder der vor dem Versuch.
- Durchführung der Versuchsreihen mit Formationswasser von Mont Terri als Messfluid. Im Unterschied zur Messung mit Isooctan erfolgt ein sehr schneller Abfall der Permeabilität. Innerhalb weniger Minuten ist kein Durchfluss mehr detektierbar. Nach Aufsättigung der Probe (nach mehreren hundert Stunden) kann aber wieder ein Durchfluss gemessen werden, der einer Permeabilität entspricht, die um 2 Dekaden unter der mit Gas gemessenen Ausgangspermeabilität liegt. Über die weitere Messzeit von ca. 600 h bleibt die Permeabilität bei konstantem Überlagerungsdruck annähernd konstant.  
Der Permeabilitätsverlauf des Versuchs mit Formationswasser bei einer Temperatur von 90 °C zeigt einen ähnlichen Verlauf wie bei Raumtemperatur. Die Ausgangspermeabilität war hier allerdings um eine Dekade höher. Auch hier ist die Probe unmittelbar nach der Injektion von Wasser dicht. Hier erfolgt der Wasserdurchbruch bereits nach ca. 200 h bei ebenfalls einem Fluideingangsdruck von 5 bar. Die aus dem Wasservolumenstrom bestimmte Permeabilität liegt ca. 3 Größenordnungen unter dem mit Gas gemessenen Ausgangswert. Über die weitere Messzeit von ca. 900 h bleibt die Permeabilität auch hier annähernd konstant. Ein Verschließen der Probe findet erst dann statt, wenn der Überlagerungsdruck erhöht wird. Aus den im Rahmen dieser Untersuchung ermittelten Daten konnte kein prinzipieller Unterschied bezüglich des Selbstheilungsverhaltens bei Raumtemperatur und bei 90 °C festgestellt werden.
- Erstellung des Final Report (RTDC 4-WP4.4-Task 4)

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Projekt zum 30.06.2005 beendet.

### 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 beteiligte sich am RTDC4 Coordination Meeting (31.01.2005 – 01.02.2005) bei ANDRA (Paris, France).

In Tours (F) fand vom 14. - 18. März 2005 das 2<sup>nd</sup> International meeting “Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement” statt. Es wurden erste experimentelle Ergebnisse im Rahmen eines Posters vorgestellt.

- AP 4: Die neu konstruierten Stempelsätze wurden in Referenzuntersuchungen an Steinsalz getestet und sind jetzt im normalen Routinebetrieb einsetzbar. Erste Vergleichsmessungen an Tonsteinen zeigten aber, dass für eine genaue Messung der Ultraschalllaufzeiten aufgrund der bei Tonsteinen vorhandenen erhöhten Dämpfung insbesondere für die Scherwellen ein größerer Messaufwand erforderlich ist.
- AP 5: Bisher wurden 5 Tonproben aus Mont Terri in der servohydraulischen Prüfmaschine des IfG untersucht. Dabei wurde jeweils die Volumenverformung und die Gasdurchlässigkeit sowie bei drei Proben auch die Variation der Ultraschallgeschwindigkeiten gemessen. Im Gegensatz zum Steinsalz liegen die über eine Volumenänderung bestimmte Dilatanz- und die Festigkeitsgrenze sehr dicht beieinander. Ebenfalls tritt hier keine oder nur sehr verzögert eine rissinduzierte Permeabilitätszunahme auf, die zudem von der Belastungsrichtung zur Foliation abhängig ist. Generell dominieren bei dem hier untersuchten Opalinuston mit einer Ausgangsporosität von ca. 16 % Kompaktionseffekte, so dass ein Nachweis von Dilatanz auch mit Ultraschallverfahren schwierig ist.
- AP 6: Abschluss der Verformungsversuche im direkten Schergerät zur Bestimmung der Mohr-Coulomb Scherparameter. Die parallel zur Schichtung bestimmten Festigkeitsparameter liegen am unteren Rand des in der Literatur beschriebenen Spektrums.

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

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Popp, T. und K. Salzer, 2005: Anisotropy of seismic and mechanical properties of Opalinus clay during triaxial and shear deformation. 2<sup>nd</sup> International meeting “Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement”, Tours, 14-18 March 2005, P/THMN/03, Poster.

|   |   |
|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>546.245,00 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 Umwand-

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

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

Die Untersuchung der Null-Tage Proben, d. h. der eingesetzten MX-80-Proben aus allen  
Batch und allen kompaktierten Proben nach einer Woche Reaktionszeit, ist weitestgehend ab-  
geschlossen. Der Vergleich mit dem unreaktierten Ausgangsmaterial steht noch aus. Gemessen  
wurde die Lösungszusammensetzung, als auch die mineralogische Zusammensetzung des  
MX-80.

Weiterhin wurden vergleichende Quelldruckmessungen mit dem GRS- und dem  
UPC(Universidad Polytechnica des Cataluna)-Quelldruckmessverfahren an den Null-Tage  
Proben durchgeführt. Es wurde getestet, ob die beiden Verfahren zu gleichen Ergebnissen  
führen und mit welchem Verfahren eine bessere Reproduzierbarkeit der Quelldruckmesswerte  
zu erreichen ist. Die beiden Verfahren unterscheiden sich grundsätzlich vom Ansatz her.  
Während im UPC-Verfahren die Quelldrücke ohne Lösungsdruck gemessen werden, wird die  
Flutung des Porenraums im GRS-Verfahren unter einem Lösungsdruck von 100 bar erreicht.  
Beide Verfahren führen zu Messwerten, die für einen Lösungsdruck Null gelten. Die Ver-  
gleichsmessungen an kompaktierten MX-80 Bentoniten der Rohdichte  $1,6 \text{ g/cm}^3$  mit IP21 ha-  
ben gezeigt, dass mit beiden Verfahren Quelldrücke von ca. 11 bar gemessen werden. Mit  
dem GRS-Verfahren liegen 15 Wiederholungsmessungen vor. Die relative Standardabweichung  
liegt allerdings bei 37 %, was sehr hoch und damit unbefriedigend ist.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Zur Zeit werden die Wiederholungsmessungen auch mit der UPC-Zelle durchgeführt, um  
auch dafür die Standardabweichung und die relative Standardabweichung zu ermitteln. Es ist  
notwendig, ein genaues und gut reproduzierbares Verfahren zur Quelldruckmessung zu ent-  
wickeln, um die erwarteten geringfügigen Veränderungen des Quelldrucks in Abhängigkeit  
von der Reaktionsdauer des Bentonits mit den Lösungen nachweisen zu können.

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

keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.311.986,00 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

Die Zweiphasenflussuntersuchungen an Ton/Sand-Proben 35/65 und 50/50 wurden fortgeführt. Die im Rahmen dieser Messungen bestimmten Gaspermeabilitäten lagen im Mittel bei  $6,7\text{E-}14\text{ m}^2$  für die 35/65er Proben und für die 50/50er Proben bei  $7,8\text{E-}14\text{ m}^2$ . Die Wasserpermeabilitäten ergaben deutlich niedrigere Permeabilitäten mit gemittelten Werten von  $1,2\text{E-}18\text{ m}^2$  (Mischung 35/65)  $5,9\text{E-}19\text{ m}^2$  (Mischung 50/50). Die Versuche zur Ermittlung des Gasdurchbruchsdrucks und der Zweiphasenflussparameter dauern an, wobei bei einer 35/65er Probe ein Gaseintritt-/Gasdurchbruch von ca. 0,5 MPa registriert wurde.

Beim 1. Technikumsversuch mit einer 35/65er Ton/Sand-Mischung war nach dem Auftreten einer Randläufigkeit zu Beginn der Aufsättigung mit synthetischer Opalinus Lösung bei Weiterführung der Injektion ein Abdichten festzustellen und die anfänglich zu hohen Fließraten nahmen deutlich ab. Die Wasserpermeabilität nach Aufsättigung ergab sich zu  $1,9\text{E-}17\text{ m}^2$ . Die Ermittlung des Quelldrucks nach Beendigung der Injektion dauert noch an, da der Abbau des Porendrucks im System aufgrund der geringen Durchlässigkeit relativ langsam von statten geht. Die Porenwasserdrücke und Quelldrücke, die sich nach ca. 5 Tagen einstellten, lagen bei den unteren, an der Eintrittsseite befindlichen Aufnehmern bei ca. 0,4 MPa bzw. 0,41 MPa. Die an der Austrittsseite (oben) registrierten Poren- und Quelldrücke zeigten Werte um 0,26 MPa bzw. 0,33 MPa. Nach vollständigem Abbau der Porendrücke sind Aussagen über den tatsächlich verbleibenden Quelldruck möglich.

Die Untersuchungen des im März 2005 begonnenen Technikumsversuchs 2, die ebenfalls mit einer 35/65er Ton/Sand-Mischung vorgenommen werden, verlaufen erwartungsgemäß. Die Einbaudichte betrug  $1,94\text{ g/cm}^3$  und die initiale Gaspermeabilität lag bei  $6,2\text{E-}14\text{ m}^2$ . Nach Beginn der Injektion mit synthetischer Opalinus Lösung war bereits nach relativ kurzer Zeit ein Abdichten festzustellen, was sich durch eine starke Abnahme der Fließraten bemerkbar machte.

Im Januar 2005 wurden im Mt. Terri URL die im Rahmen der In-situ-Untersuchungen vorgesehenen Porenwasserdruckmessstellen installiert. Die Erstellung der ersten zwei Bohrungen für die In-situ-Versuche erfolgte im April 2005 und das erste Bohrloch wurde Ende Mai 2005 befüllt und instrumentiert. Die erreichte Einbaudichte betrug  $1,88\text{ g/cm}^3$  und liegt somit insgesamt im Bereich der in den Technikumsversuchen ermittelten Einbaudichten. Das Ergebnis zeigt, dass die verwendete Einbautechnik auch unter In-situ-Bedingungen erfolgreich einsetzbar ist.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss und Auswertung der Laboruntersuchungen zum Zweiphasenflussverhalten
- Bestimmung der Wasserpermeabilität und des Gasdurchbruchsdruck im Technikumsversuch 1 und Auswertung der Untersuchungen
- Weiterführung des Technikumsversuchs 2
- Aufbau der Datenerfassung und Inbetriebnahme des In-situ-Versuchs 1

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Rothfuchs, T. et al., 2004: Selfsealing Barriers of Clay/Mineral Mixtures in a Clay Repository - SB Experiment in the Mont Terri Rock Laboratory, Final Report of the Pre-Project, GRS-212

|   |   |   |
|---|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 5: Durchführung von Langzeit-Kriechversuchen über eine Dauer von 12 Monaten mit verschiedenen Manteldrücken und unterschiedlichen Wassergehalten an zylindrischen Prüfkörpern aus hochkompaktiertem Salzgrus. Erarbeitung einer Präsentation der Zwischenergebnisse zu diesen Laborversuchen für das 3. Technische Meeting der NFPRO-Komponente 3 am 30.06. in Wettingen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP 2: Durchführung von ergänzenden Triaxialversuchen an zylindrischen Prüfkörpern aus hochkompaktiertem Salzgrus mit einem erhöhten Wassergehalt.

AP 5: Weiterführung und Abschluss der geplanten Langzeit-Kriechversuche mit verschiedenen Manteldrücken an zylindrischen Prüfkörpern aus hochkompaktiertem Salzgrus. Erarbeitung eines Zwischenberichtes zu diesen Laborversuchen.

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

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

keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>120.732,00 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: a) Bestimmung der effektiven hydraulischen Leitfähigkeit (Keff) in der EDZ, b) Abschätzung des Selbstheilungsprozesses infolge natürlicher Wiederaufsättigung, c) Bestimmung des Einflusses chemischer Änderungen infolge der Ventilation auf die hydraulisch-mechanischen Eigenschaften sowie d) 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 bereits in der voran laufenden Phase 1 im Januar und Februar 2004 beobachtete Wiederaufsättigung des Tonsteingebirges ist inzwischen weitgehend vollendet, wie die Ergebnisse der geoelektrischen Messungen zeigen. Die Wiederaufsättigung erfolgte nicht durch fortgesetzte Ventilation, sondern durch Wasserumverteilung aus entfernteren Gebirgsbereichen. Die geoelektrische Überwachung wird während der folgenden zweiten Entsättigungsphase fortgesetzt.

*Laboruntersuchungen:* Im zweiten Screening-Test wurden zwei gelochte Tonproben ( $D/d/L = 100/20/100\text{mm}$ ) des Opalinuston mit dem von GRS entwickelten Ventilationssystem bei verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeiten von  $RH = 99\%$ ,  $60\%$ ,  $23\%$  und  $90\%$  entsättigt bzw. aufgesättigt. Hierbei wurde eine Probe in einer Triaxialzelle bis zu  $3.5\text{ MPa}$  belastet, während eine unbelastete Vergleichsprobe zur direkten Messung des Wasserverlustes außerhalb der Zelle ventiliert wurde. Jede Ventilationsphase dauerte etwa 3 – 4 Wochen. Die zwei Entsättigungsphasen mit  $RH = 60\%$  und  $23\%$  bewirkten eine Reduzierung des Wassergehaltes von  $6,8\%$  auf  $3,8\%$  und auch eine deutliche Kompaktion der belasteten Probe um bis zu  $0,6\%$ . Während der letzten Aufsättigungsphase bei  $RH = 90\%$  wurde eine signifikante Quellung bis zu ca.  $0,2\%$  beobachtet. Dieser Versuch wurde auch durch gekoppelte THM Modellrechnungen mit CODE-BRIGHT erfolgreich simuliert.

Aufgrund der durchgeführten Screening-Tests ist ein Testkonzept für den vorgesehenen großen Ventilationsversuch an einem gelochten Tonkern ( $D/d/L=260/55/600\text{ mm}$ ) erstellt worden. Dieser Versuch wird in der großen Triaxialpresse im GRS-Labor in folgenden Schritten durchgeführt: 1) die gelochte Probe wird hydrostatisch bis zu  $8\text{ MPa}$  belastet, um eine Auflockerungszone im Tonkern zu erzeugen; 2) die Probe wird durch Ventilation der Zentralbohrung bei verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeiten von  $RH = 98\%$ ,  $60\%$ ,  $20\%$  und  $98\%$  entsättigt und wieder aufgesättigt, um mechanische Reaktionen der Tonprobe unter Messung der Axial-/Radial-/Volumenverformung und Bohrlochkonvergenz zu erfassen. Zur Messung von Wasserverlust bzw. -aufnahme infolge der Entsättigung bzw. Aufsättigung werden zusätzlich 4 – 8 kleine Tonproben ( $D/L=70/100\text{ mm}$ ) parallel ventiliert. Jede Ventilationsphase wird 4 – 6 Wochen dauern. Der Labor-Ventilationsversuch wurde vorlaufend durch gekoppelte THM Modellrechnungen mit CODE-BRIGHT prognostiziert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der geoelektrischen Feldmessungen und Berechnung der Widerstandstogramme
- Vorbereitung und Durchführung des großen Ventilationsversuchs an einem großen Tonkern
- Modellierung des großen Ventilationsversuchs

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Deliverable 4.3.4a/b for NF-PRO RTDC4-WP 4.3: a) Determination of material parameters for the Opalinus clay; b) Scoping calculations for laboratory ventilation tests and test plan. 30.06.2005.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <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 (Teilantrag 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 milieuabhängigen 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) Neben den im Verbund verwendeten Referenzsubstanzen sind für weitere Huminstoff-Referenzsubstanzen konditionelle Bindungskonstanten aus der Löschung der intrinsischen Huminstofffluoreszenz und der sensibilisierten Tb<sup>3+</sup>-Lumineszenz bestimmt worden. Dabei wurden vor allem die Unterschiede zwischen Fulvin- und Huminsäuren deutlich, sowie die unterschiedliche Effizienz der Sensibilisierung der Lanthanid-Lumineszenz durch Huminstoffe verschiedener Ursprungsorte (z. B. zeigten bodenbürtige Huminstoffe oft nur eine sehr geringe Sensibilisierung der Lanthanid-Lumineszenz).

(AP2) Hochauflösende Lumineszenzmessungen bei 4 K sind an der Vrije Universiteit von Amsterdam an Modellverbindungen und an Referenzhuminstoffen durchgeführt worden. In den Messungen wurden Anregungsspektren des sehr schwachen, aber spektral extrem schmalen <sup>5</sup>D<sub>0</sub>-<sup>7</sup>F<sub>0</sub>-Übergang von Eu<sup>3+</sup> in Wasser und in verschiedenen Komplexen bei ca. 580 nm aufgenommen, um so Aussagen zur Stöchiometrie und Bindungsverhältnissen in Huminstoff-Metallkomplexen zu erhalten. Die Ergebnisse von Modellverbindungen spiegeln die unterschiedlichen Komplexe gut wieder, für Huminstoffe müssten die experimentellen Bedingungen weiter optimiert werden, um zu belastbaren Aussagen zu kommen.

Zur Auswertung der Lumineszenzabklingkinetiken der sensibilisierten Lumineszenz von Eu<sup>3+</sup> und Tb<sup>3+</sup> in Huminstoffkomplexen wurde ein Modell, das den möglichen intramolekularen Energierücktransfer in den Komplexen berücksichtigt, adaptiert. Aus dem Modell werden intrinsische Größen zur Beschreibung von Huminstoffeigenschaften gewonnen.

(AP3) Die Löschung der intrinsischen Huminstofffluoreszenz durch Nd<sup>3+</sup> wurde in stopped-flow Experimenten untersucht. Es zeigten sich große Unterschiede im Zeitverhalten zwischen Fulvin- und Huminsäuren, die darauf hindeuten, dass es bei Huminsäuren mehrere Löschemanismen gibt, u. a. ein möglicher Einfluss von konformativen Veränderungen, die durch eine Komplexierung von Metallionen verursacht wird.

(AP4) Erste Untersuchungen zum Abklingverhalten der intrinsischen Huminstofffluoreszenz und zur zeitaufgelösten Fluoreszenzanisotropie wurden am Referenzhuminstoff Gohy573 HA durchgeführt. Als erste Tendenz zeigte sich, dass die Komplexierung von Metallionen zur einer Abnahme der Fluoreszenzkorrelationszeit führt, was auf eine Abnahme des „Rotationsvolumens“ hindeutet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

(AP2) Die vergleichende Untersuchungen an Referenzhuminstoffen und Modellverbindungen – speziell zur spektralen Lage des <sup>5</sup>D<sub>0</sub>-<sup>7</sup>F<sub>0</sub>-Übergang von Eu<sup>3+</sup>, den Lumineszenzlebenszeiten in H<sub>2</sub>O bzw. D<sub>2</sub>O und zum Interlanthanid-Energietransfer – werden fortgesetzt.

(AP3) In den stopped-flow Experimenten werden neben der Metallkomplexierung auch die Umkomplexierung in konkurrierenden Systemen untersucht werden. Zusätzlich soll neben der intrinsischen Huminstofffluoreszenz auch die Lumineszenz von Eu<sup>3+</sup> bzw. Tb<sup>3+</sup> als Sonde zur Untersuchung der Komplexierungskinetik verwendet werden.

(AP4) Die zeitaufgelösten Fluoreszenz- und Anisotropiemessungen an verschiedenen Huminstoffen in An- und Abwesenheit von Metallionen wird sowohl in H<sub>2</sub>O als auch in D<sub>2</sub>O untersucht.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

M.U. Kumke, S. Eidner und T. Krüger: *Sensitised Luminescence in complexes of Tb<sup>3+</sup> and Eu<sup>3+</sup> with humic substances*, Environ. Sci. Technol. (2005), zur Veröffentlichung eingereicht.

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>857.712,00 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 Uranbergbaugebiet Ronneburg

AS 4: Transport von Zink im Bereich Cape Cod, Massachusetts

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

Das Datenmaterial zur Hydrogeologie der Insel Langeoog des Institutes für Umweltgeologie der Technischen Universität Braunschweig (Prof. Wolff) wurde übernommen. Ein dreidimensionales hydrogeologisches Modell wurde erstellt und in Zusammenarbeit mit der Uni Heidelberg ein Rechengitter erzeugt. Das Strömungsmodell ist in Arbeit, erste Rechnungen laufen.

Die aus der Literatur zur Verfügung stehenden Daten bezüglich des Zinktransports in Cape Cod, USA wurden zusammengetragen und gesichtet. Es wurde mit dem Aufbau eines Strömungsmodells begonnen.

Im Februar dieses Jahres wurde Kontakt zur Arbeitsgruppe von Prof. Vereecken am Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre, Institut Agrosphäre des Forschungszentrums Jülich aufgenommen. Die Arbeitsgruppe ist sehr interessiert an einer Modellierung mit  $r^3t$  und wird bei der Strömungsmodellierung behilflich sein. Es wurde vereinbart, dass im Herbst, wenn der Sachbearbeiter zum Grundwassermessfeld Krauthausen seinen USA-Aufenthalt beendet hat, der Kontakt vertieft wird und wir die Messdaten zum Radionuklidtransport erhalten werden.

### **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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>204.548,00 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 %.

Bei den Messungen im Buffer wurde die erwartete Verringerung der Resistivität mit der Wasseraufnahme festgestellt. Auch hier zeichnet sich eine Vergleichmäßigung der Resistivitätsverteilung ab. Inzwischen ist die Resistivität nahezu im gesamten Buffer auf Werte unterhalb  $13 \Omega\text{m}$  zurückgegangen; von der Vollsättigung ist dieser damit immer noch weit entfernt.

Die Resistivitätsverteilungen entlang der Messketten im Gebirge ähneln einander sehr und ändern sich kaum. Die Gebirgsresistivität zeigt charakteristische Werte zwischen 2000 und  $7000 \Omega\text{m}$ . Bei zweien der Messketten deutet sich eine leichte allmähliche Erhöhung der Resistivität an; um diese als prognostizierte Entsättigung des Gebirges nach Einbau des Buffers zu interpretieren, muss der weitere Trend untersucht werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

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

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

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Rothfuchs, T., Wieczorek, K. (2005): Monitoring Moisture Distribution in Engineered Barrier Systems and Host Rocks by Geoelectric Tomography. - WM '05 Conference, February 27 – March 3, Tucson, AZ, WM-5217.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.304.439,00 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 am jährlichen RWMC-Meeting in Paris.
- Teilnahme am 1. Fachgespräch des Projektträgers zum Thema „Radionuklidmigration – Aktueller Stand in der Endlagersicherheitsforschung“ mit Beiträgen über Methodik und

Anforderungen der Langzeitsicherheitsanalyse und die Bedeutung natürlicher Analoga für die Endlagersicherheitsbewertung.

- Bearbeitung des Fragebogens der IGSC zum Thema „Handling of timescale issues“ in einem Safety Case und Abstimmung der Inhalte mit GRS-Köln
- Anfertigung eines Beitrags für den 3. EBS-Workshop der NEA zum Thema „Role of PA / Process models“.
- Sichtung von Studien der NEA und IAEA zum Safety Case.
- Erarbeitung einer Strategie zur Partitionierung von Endlagern in Salz- und Tonformationen als Basis für die Berechnung von Performanceindikatoren. Ein Paper zu diesem Thema für die ICEM-Tagung liegt im Entwurf vor.
- Verfolgung der Arbeiten in Arbeitskomponente RTDC6 im EU-Projekt FUNMIG zur Aufbereitung der Ergebnisse für Langzeitsicherheitsanalysen: Teilnahme am 1. Meeting zur Abstimmung der durchzuführenden Arbeiten.
- Weiterführende Arbeiten zur Aufsättigung von Bentonit in der EBS Task-Force. Überprüfung des Einflusses der Hydrationsgeschwindigkeit auf die Aufsättigung durch Dampfdiffusion.

TA 2:

- Sichtung nationaler und internationaler Arbeiten zur langfristigen klimatischen Entwicklung in Zentraleuropa.

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

TA 1:

- Teilnahme am jährlichen Treffen der NEA-Arbeitsgruppe IGSC 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 eigenen Beitrag.
- Verfolgung der Arbeiten in Arbeitskomponente RTDC6 im EU-Projekt FUNMIG zur Aufbereitung der Ergebnisse für Langzeitsicherheitsanalysen.
- Mitarbeit beim Statusbericht der IGSC zum Thema „Handling of timescale issues“ in einem Safety Case.
- Sichtung internationaler Studien und Zusammenstellung von Elementen, die für den Safety Case eines potentiellen deutschen Endlagers relevant sind.
- Auswahl von Performance- und Sicherheitsindikatoren für Endlager in Salz- und Tonformationen. Definition eines Referenzfalls für ein Endlager in einer Salzformation und Durchführung von Modellrechnungen zur Bestimmung von Sicherheits-/Performanceindikatoren.
- Durchführung von Modellrechnungen zum Benchmark in der EBS Task-Force. Teilnahme am 2. EBS Task-Force Meeting.

TA 2:

- Zusammenstellung und Dokumentation wahrscheinlicher Klimaverläufe in Zentraleuropa und Deutschland über lange Zeiträume. Beschreibung der Auswirkungen auf gebirgsmechanische, hydrogeologische und hydrochemische Verhältnisse im Fernfeld eines Endlagers. Beginn der Erstellung konzeptueller Modelle.

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

keine

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <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>01.06.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>460.416,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Krone                    |  |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die vorrangige Zielstellung des vorgeschlagenen Vorhabens besteht darin, für ein HAW-Endlager im Granit ein klareres Verständnis über die Rolle der einzelnen Komponenten des geologischen und geotechnischen Barrierensystems 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. Ungeachtet dessen sind der Charakterisierung der Kluftsysteme praktische und nicht zuletzt auch wirtschaftliche Grenzen gesetzt.

Im Zusammenhang mit der eingeschränkten Kenntnis über die vorliegenden Kluftsysteme und die damit verbundenen Unsicherheiten 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 Granit 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.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Charakterisierung der geologischen Barriere (Federführung BGR)

AP2: Charakterisierung, Auslegung und Sicherheitsbewertung der technischen Barrieren

AP3: Bewertung der Wirksamkeit des gesamten Barrieresystems (Federführung GRS)

AP4: Auswertung und Dokumentation

AP5: Projektleitung und Koordination

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

Zu AP1:

Die Arbeiten zu diesem Arbeitspaket wurden seitens der DBE TECHNOLOGY GmbH planmäßig noch nicht aufgenommen.

Zu AP2:

Die Bewertung des Einflusses potenziell Erdbeben- und thermisch induzierter Gesteinsverschiebungen soll durch die rechnerische Ermittlung der maximal zulässigen Scherverformungen auf Klüften erfolgen, bei der die plastischen Verformungen der technischen Barriere bestehend aus Bentonit, thermischem Isolator und austenitischem Stahlbehälter die zulässigen Werte nicht überschreiten. Scherverformungen entstehen durch thermische Expansion der Gesteinsmatrix in der Umgebung der eingelagerten Behälter. Die Thermische Expansion ist in erster Linie in vertikaler Richtung möglich, insbesondere in Richtung der Erdoberfläche, wohingegen sie in horizontaler Richtung durch die starke Einspannung nur gering ist. Dieses inhomogene Verhalten führt zu thermisch induzierten Scherspannungen auf Kluftstrukturen. Es ist zu erwarten, dass die Scherbewegungen der Temperaturentwicklung im umgebenden Gestein folgen.

Scherbewegungen mit höheren Scherungsraten bis hin zu spontanen Scherungen können durch mechanische Anregung bedingt durch Erdbeben entstehen. Es ist daher geplant die Mindestentfernungen von unterschiedlich starken Erdbeben zu dem geplanten Endlager zu ermitteln, die möglich sind, um maximal zulässige Scherverformungen nicht zu überschreiten. Diese sollen mit tatsächlich aufgetretenen Erdbeben in der Region verglichen werden.

Zunächst wurde mit der Erarbeitung der konzeptionellen Modelle hierzu und mit der Datenzusammenstellung begonnen.

Zu AP4:

Die Arbeiten wurden noch nicht aufgenommen.

Zu AP5:

In einem Arbeitstreffen mit dem russischen Partner VNIPI PT wurden die Mitwirkungsleistungen im laufenden Jahr abgesprochen. Darüber hinaus wurde mit der Vorbereitung eines deutsch-russischen Seminars begonnen, das im September 2005 in Peine stattfinden soll.

### **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, 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>01.06.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>462.582,00 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

Das Vorhaben bearbeitet das Arbeitspaket:

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**

Mit der Projektarbeit wurde mit der Sichtung der vorhandenen Daten begonnen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Es wird begonnen, ein neues hydrogeologisches Modell für den Standort Jennisseiskij zu erstellen. Weiterhin sollen die benutzten numerischen Modelle erweitert werden.

### **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>01.06.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>180.403,00 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 der geochemische Zustand von Uran in natürlichen Sedimentproben vom Standort Ruprechtov mit einem hohen Urangehalt mit modernen analytischen Methoden wie  $\mu$ -XRF (INE) und U(IV)/U(VI)-Trennung (University Helsinki) 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: Abstimmung und Planung der Kolloid-Probenahme mit INE und NRI und Vorbereitung der begleitenden Messungen.
- AS2: Identifikation geeigneter Sedimentproben für die Untersuchung des geochemischen Zustands von Uran.
- AS3: Planung der Arbeiten dieses Arbeitsschritts.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AS1: Durchführung einer Probennahme für Kolloide zusammen mit INE an fünf ausgewählten Bohrlöchern. Gleichzeitige Grundwasserprobennahme zur Bestimmung von Haupt- und Nebenbestandteilen der Wässer. PH- und Eh-Wert-Bestimmung mittels In-situ
- Sonde in den Grundwässern der ausgewählten Bohrlöcher.  
Überprüfung der Plausibilität der von GRS und INE gewonnenen Messwerte zu Absicherung der von INE neu entwickelten Messmethode. Ggf. Vorbereitung einer zusätzlichen Probenahme.
- AS2: Ermittlung und Zusammenstellung geochemischer und mineralogischer Daten für die direkt zu den ausgewählten Sedimentproben benachbarten Proben.
- AS3: Zusammenstellung der hydrogeologischen geochemischen und radiometrischen Daten zum Standort Ruprechtov. Zur Untersuchung des Verhaltens organischer Materie sollen insbesondere  $^{13}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}$ -Isotopendaten in Sediment und Wasserbestandteilen ausgewertet werden.  
Noch fehlende Isotopenmessungen wie  $^{34}\text{S}$  in gelöstem Sulfat sollen identifiziert und entsprechende Messungen in Auftrag gegeben werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine



## **2.2 C-Vorhaben**

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38670 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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  $t=62,5d$  und  $t=196d$  an zylindrischen Prüfkörpern mit den Maßen  $300*150$  mm mit reduzierter Beanspruchungsrate beim Belastungsanstieg.
- Ableitung eines vollständigen Parametersatzes für das Stoffmodell Hou/Lux (Schädigung und Verheilung)
- Grundlegende Überarbeitung des Berechnungsalgorithmus im implementierten Verheilungsansatz unter Berücksichtigung der gefundenen drei Phasen in der Verheilung: Riss-schließungsphase 1, Riss-schließungsphase 2 und Verheilungsphase
- Einführung des phs (physical healing in salt)- Stoffmodells
- Implementierung der neuen Gleichungen in das FEM-Programm MISES3
- Numerische Rückrechnung und Auswertung der Laborversuche
- Exemplarische Anwendung des phs-Stoffmodells auf ein In-situ-Bauwerk

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung von Laborversuchen an zylindrischen Prüfkörpern mit 300 mm Höhe und 150 mm Durchmesser mit reduzierter Belastungsrate beim Anstieg der Radialbelastung und Bestimmung von Verheilungskennwerten. Dabei werden verschiedene Belastungsniveaus angefahren, geplant sind Versuche bei 15/ 15 MPa und 20/ 20 MPa Axial-/ Radialbeanspruchung.
- Rückrechnung von diesen Laborversuchen an zylindrischen Prüfkörpern mit reduzierter Belastungsrate und Überprüfung der Beanspruchungsabhängigkeit in der Riss-schließungsphase 2.
- Durchführung von weiteren Laborversuchen an zylindrischen Prüfkörpern mit 300 mm Höhe und 150 mm Durchmesser mit reduzierter Belastungsrate beim Anstieg der Radialbelastung und Bestimmung von Verheilungskennwerten zur Abschätzung der Bandbreite der Materialparameter.
- Rückrechnung von diesen Laborversuchen an zylindrischen Prüfkörpern mit reduzierter Belastungsrate.
- Anwendung des Verheilungsansatzes auf ausgewählte Fragestellungen und Übertragung auf reale Untertagebauwerke gemäß Antragskizze, d. h. ausgewählte Berechnungen mit dem Modell eines Dammbauwerks und versetzter Strecke.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU-Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2 A, 38670 Clausthal-Zellerfeld  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 C 0841</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten   |   |   |
| <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>01.07.2001 bis 30.06.2005   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>1.097.222,15 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Mengel             |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens ist, auf der Grundlage isotopengeochemischer Prozesse Kenntnisse über die natürlich in marinen Evaporiten vorkommenden mineralgebundenen Gase hinsichtlich ihrer Herkunft und ihres Migrationsverhaltens zu gewinnen. Aus dieser Erkenntnis zu natürlichen Gasen wird sich die Aussagesicherheit für das Verhalten von Gasen, die bei der Einlagerung von Abfällen in Evaporiten freigesetzt werden oder entstehen können, deutlich verbessern. Erstes Teilziel ist, eine Methode zur Anwendungsreife zu bringen, die in der Lage ist, die teilweise geringen mineralgebundenen Gasmengen hinsichtlich ihrer Isotopenzusammensetzung zu analysieren. Ein zweites Teilziel ist die kontaminationsfreie Beprobung von Kernmaterial, welches seinen Gasbestand noch nicht an die Umgebung abgegeben hat und dessen Gasinventar weder geändert noch verfälscht wurde. Als weiteres Teilziel ist die saubere Trennung der beiden Arten mineralgebundener Gase (inter- und intrakristallin) anzusehen. Da von einer unterschiedlichen Sensibilität beider Gasgruppen bei mechanischen Belastungen des Speichergesteins auszugehen ist, darf keine Gesamtanalyse der Gase eines Bohrkernabschnitts vorgenommen werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Probennahme: Insgesamt sollen drei Bohrungen aus stratigraphisch vergleichbaren Einheiten mit unterschiedlicher tektonischer Vorbeanspruchung untersucht werden.
- Methodenetablierung: es wird eine Methode zur Messung der Isotopensysteme  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}_{(\text{H}_2)}$  sowie  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{C}_1\text{-C}_4)}$  und  $\delta^2\text{H}_{(\text{C}_1\text{-C}_4)}$  etabliert und eine Methode zur räumlichen Darstellung von Gaszusammensetzungen in Einschlüssen in Kernabschnitten mittel Laser-Ramanspektroskopie entwickelt.
- Interkristalline Gase: die Kernabschnitte werden kontrolliert ausgegast und die gewonnenen Gase mittels des GC-irMS untersucht.
- Intrakristalline Gase: zunächst wird die räumliche Verteilung der Gase in Einschlüssen in den Proben mittels der Laser-Ramanspektroskopie untersucht. Anschließend werden die Gase mittels Auflösen separiert und mit dem GC-irMS analysiert.
- Alle Proben werden vollständig mineralogisch (RDA) und chemisch (IC) beschrieben.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Abschließende analytische Arbeiten am zweiten Bohrkern aus Braunschweig-Lüneburg
- Beide Kerne stammen aus Bereichen, die nach der Bildung nicht chemisch umkristallisierten.
- Hauptgas in den Proben ist das Methan.
- Auf den Korngrenzen und Einschlüssen des Braunschweig-Lüneburg-Kerns konnte nur thermogenes Methan gefunden werden und nicht, wie in Zielitz, fraktioniertes Methan aus der bakteriellen Fermentation.
- Wie in Zielitz konnten an der Basis des z2HS viele ölreiche Einschlüsse gefunden werden.
- Es wird vermutet, dass das bakterielle Methan in Braunschweig-Lüneburg während der mechanischen Umkristallisation aus der Formation verdrängt wurde.
- Analyse des  $\delta^{34}\text{S}$  und  $\delta^{18}\text{O}$  des Sulfats der Anhydrite im Bohrkern aus Zielitz.
- Der Schwefel zeigt keinerlei Fraktionierung von der Basis zum Top der Formation. Die  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ -Werte liegen bei den zu erwartenden 10,5 ‰ und sind typisch für Zechstein. Die  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ -Werte liegen bei 11,0 ‰ an der Basis des Formation und steigen auf etwa 12,3 ‰ am Top. Damit zeigt der Sauerstoff eine ähnliche Fraktionierung zu schwerer Isotopie am Ende der Kristallisation wie das Methan. Dies kann mit einer Entfernung der leichteren O-Isotope beim Eindunsten des Meerwassers vom Wasser in die Atmosphäre erklärt werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Abschlussbericht in Vorbereitung.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Potter, J., Siemann, M. G. (2004): A new method for determining  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta\text{D}$  simultaneously for  $\text{CH}_4$  by gas chromatography/continuous-flow isotope-ratio mass spectrometry -- Rapid Communications in Mass Spectrometry, Vol. 18, Issue 2, pp. 175 - 180.
- Potter, J., Siemann, M. G., Tsyukov, M. (2004): Large scale isotopic carbon fractionations in a Zechstein evaporite deposit and the generation of extremely enriched methane gases - Geology, 32, 6, 533-536.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>867.752,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Mönig                    |   |

## 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

Die isopiesticen Messungen zur Bestimmung der Pitzerkoeffizienten für Al in basischen Salzlösungen in den Systemen:

- K-OH-Cl-Al,
- Mg-OH-Cl-Al,
- Ca-OH-Cl-Al
- sowie Na-OH-SO<sub>4</sub>-Al(OH)<sub>4</sub> und K-OH-SO<sub>4</sub>-Al(OH)<sub>4</sub>.

Es wurden potentiometrische Titrations zur Ermittlung des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> / H<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup> in Abhängigkeit von der Salzfracht durchgeführt. Dabei wurden folgende Systeme untersucht:

- Na-Cl-Si
- K-Cl-Si

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Es werden potentiometrischen Titrations zur Ermittlung des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> / H<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup> in Abhängigkeit von der Salzfracht. Dabei werden folgende Systeme untersucht:

- Ca-Cl-Si
- K-SO<sub>4</sub>-Si

Fortsetzung der isopiesticen Messungen für Al in basischen und sauren wässrigen Salzlösungen.

Durchführung der Löslichkeitsmessungen mit Gibbsit im sauren pH-Bereich in den Systemen:

- K-H-Cl-Al,
- Mg-H-Cl-Al,
- Ca-H-Cl-Al
- sowie Na-H-SO<sub>4</sub>-Al und K-H-SO<sub>4</sub>-Al.

Wiederholung der Löslichkeitsmessungen mit Wollastonit und Forsterit unter Erweiterung der Experimente um die Mineralphasen Ettringit und Friedelsches Salz.

### 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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. Sie sind so zu konstruieren, dass sie möglichst schnell aus einer Beobachtungs- und Überwachungsphase entlassen werden können. 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 vergangenen halben Jahr wurden die Materialuntersuchungen für das ÄS fortgesetzt. Die in den Steigversuchen erzielten Steighöhen sind sowohl von physikalischen als auch mineralogischen Parametern abhängig, deren Einfluss auf das beobachtete Materialverhalten erklärt werden soll. Es wurden neue Mischproben getestet und auch die Steigversuche mit Salzwasser begonnen respektive fortgesetzt. Die Mischung M-21 hat sehr schnell die Steighöhe 3 m erreicht. Es wurde leider festgestellt, dass die besonders guten Eigenschaften von M-21 durch Gipsverbindungen, festgestellt durch hohe Sulfatgehalte, bedingt sind. Diese Sulfate können eine unerwünschte Korrosion an Betonlagern verursachen, dieses Material ist problematisch. Die Sulfate besitzen eine starke Wasseraufnahme über die Dampfphase, was sich auch in der deutlich von den anderen Proben unterschiedlichen Entwässerungskurve zeigt. Daher wurde ein karbonatischer Zuschlagstoff aus primärem Muschelkalkmehl gewählt (M-33).

Der „Turmversuch“ wurde mit Salzwasser gestartet. Drei ÄS, bestehend aus unterschiedlichen Mischungen, wurden einem Dichtsegment vorgelagert. Mit zunehmender Versuchsdauer dringt die Lauge tiefer in die ÄS ein und die unterschiedlichen kapillaren Eigenschaften bilden sich heraus. Das hintere ÄS gibt stark verzögert Wasser an das Dichtsegment ab, ein deutlicher Höhenun-

terschied kann festgestellt werden. Damit ist auch die grundsätzliche Eignung für saline Wässer gegeben. Dieser Vorlauf der Feuchtefront im ÄS zieht sich bis zur maximalen Turmhöhe von 1,5 m durch. Der vom ÄS befeuchtete Bentonit zeigt deutliches Quellen. Die durch das ÄS langsame Befeuchtung ermöglicht den Quellvorgang auch mit Salzlauge. Die gleichzeitig durchgeführten TDR Messungen bestätigen diesen Vorgang und spiegeln die abgelesenen Steighöhen exakt wieder. Eine Korrelation zwischen den bestimmten Parametern ist im Moment noch nicht möglich, da die Datensätze noch nicht vollständig sind. Insbesondere fehlen die Daten noch für den Muschelkalk.

#### AP 4: Versuche im halbtechnischen Maßstab

Bei dem ersten Halbtechnik-Versuch (Schachtversuch) war der Einbau so konzipiert, dass die unteren Schichten beim Beaufschlagen mit Salzlösung durchbrechen sollten, um die Funktion der Äquipotenzialsegmente (ÄS) zu belegen. Von zusätzlich in das Dichtsegment eingebauten Störungen (Sandlinsen) werden präferenzielle Durchbrüche provoziert. TDR-Sensorkabel zeichnen das Fortschreiten der Feuchtefront und die Verhältnisse in den Dichtsegmenten (DS) und ÄS auf. Trotz der Fehlstellen war das untere DS sehr stabil. Der Durchgang der Feuchtefront erfolgte langsam, mit der gewünschten Bevorzugung der Störungszonen. An den senkrecht eingebauten Sensoren lässt sich die Position der Feuchtefront in der Höhe verfolgen. Gleichzeitig findet mit zunehmenden Fluiddruck eine Verdichtung der DS statt. Die Schichtung im Behälter ist an beiden Sensoren deutlich zu erkennen. Die waagrecht eingebauten Sensoren geben ein Bild von der horizontalen Verteilung. Nach sechs Monaten ist die Salzlösung bis in die zweite Sandschicht (ÄS2a) vorgedrungen und breitet sich dort waagrecht aus. Der anliegende Fluiddruck beträgt 80 bar. Der Versuch soll solange fortgeführt werden, bis das ÄS komplett benetzt und die Feuchte an der Grenze zu ÄS2b angekommen ist.

Aus dem Druckverlauf der sechs Druckgebern und dem Erddruckgeber geht hervor, dass bei Benetzung der Druck in den Segmenten auf den Fluiddruck ansteigt. Vorher folgt der Druckverlauf dem Erddruckgeber. Die Fluidmenge folgt in Stufen der Druckerhöhung, der Anstieg bei konstantem Druck ist derzeit minimal ( $< 0,01$  l/h bei 80 bar).

Im Versuchsverlauf ergaben sich mit zunehmendem Fluiddruck Undichtigkeiten an den Sensorkabeln. An dem Übergang zwischen Flachband- und Koaxialkabel dringt Salzlösung ein. Diese Fehlfunktion tritt sukzessive an allen voll benetzten Kabeln auf.

Insgesamt zeigt sich die volle Funktionalität des Aufbaus gewährleistet; in den ÄS breitet sich die Lösung, die über präferenzielle Fließwege (Störungszonen) in den DS vordringt, über die Fläche aus und benetzt das DS homogen von hinten her.

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

Der erste Versuch im halbtechnischen Maßstab (Schachtversuch) wird bis Spätjahr 2005 weitergeführt. Erforderlich wird eine Verbesserung der Kabelübergänge in den Sensoren. Der zweite Versuch (Streckenversuch) soll dann anschließend gestartet werden. Die Steigversuche werden mit Salzlösung weitergeführt, ebenso die Versuche mit den geschichteten ÄS (Turmversuch). Parallel wird in einem Minilysimeter (L:B = 100:80 cm) das horizontale Ausbreiten untersucht (simulierter Schachtverschluss). Dazu wird die Mineralogie der „qualifizierten“ Artmixe bestimmt (Materialdesign).

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

Der Projektstand wurde am 14. Juli 2005 im Projektgespräch im Forschungszentrum Karlsruhe vorgestellt. Auf der Homepage ([www.untertageverschluss.de](http://www.untertageverschluss.de)) ist das Protokoll dazu eingestellt. Außerdem wurde ein Poster anlässlich des Workshops der Forschergruppe Feuchtemesstechnik an der Universität Karlsruhe präsentiert.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>365.274,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Kupsch                   |   |

## 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

- Adsorption von  $^{14}\text{C}$ -markierten HA und FA an Sand in Abhängigkeit von der Reinigung
- pH-abhängige Desorption von  $^{14}\text{C}$ -markierter Huminsäure an Sand und Kaolinit
- $^{14}\text{C}$ -Radiomarkierung und Bereitstellung von Gorleben-HA [ $^{14}\text{C}$ ]GoHy-573 (INE, TUM)
- Humatkomplexierung von  $[\text{}^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$
- Vermessung der Adsorptionsisotherme von  $[\text{}^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  an Kaolinit

Nach der  $^{14}\text{C}$ -Radiomarkierung von HA wurden diese mittels Fällung und Ultrafiltration gereinigt. Für das Adsorptionsverhalten von den filtrierten HA an Sand (pH 5 und 6) wurde im Vergleich zu den gefällten HA ein um den Faktor 2 kleinerer  $K_d$ -Wert bestimmt. Die Desorptionsrate von [ $^{14}\text{C}$ ]HA wurde bei pH 4 - 10 an Sand und Kaolinit bestimmt. Oberhalb von pH 8 ist die Desorption an Sand vollständig. Beim Kaolinit sind selbst bei pH 10 noch ~ 50 % HA adsorbiert. Nach  $^{14}\text{C}$ -Markierung von GoHy-573-HA wurden dem INE und der TUM [ $^{14}\text{C}$ ]GoHy-573-HA zur Verfügung gestellt. Die Komplexierung von Aldrich-HA mit zweiwertigem Zn wurde unter Verwendung der Radiotracer-technik mit  $^{65}\text{Zn}$  ( $T_{1/2} = 244$  d) im Zn-Konzentrationsbereich von 1 nM - 20  $\mu\text{M}$  bei pH 7 untersucht. Zur Bestimmung von unkomplexiertem  $\text{Zn}^{2+}$  und Zn-Humat wurden Anionen-/ Kationenaustauscher und die Ultrafiltration in Kombination mit  $\gamma$ -Spektrometrie und LSC verwendet. Die  $\log \beta$ -Werte (l/mol) wurden mit drei Modellen ermittelt: 4,90 (LC-Modell,  $\text{LC} = 14,3$ ); 8,17 und 5,57 (Scatchard-Plot); 6,78 (Schubert's-Modell). Die Zn:HA-Stöchiometrie betrug für alle Modelle ~ 1:1,5. Im Fall des LC-Modells wird ein Anstieg von  $\log \beta$  mit abnehmender Zn-Konzentration um ~ 1 beobachtet. Das Scatchard-Modell liefert zwei  $\log \beta$ 's für ein „Two-sites-binding“-Modell (strong + weak sites). Die Adsorptionsstudien von  $[\text{}^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$  an Kaolinit (4 g/l) wurden im Zn-Konzentrationsbereich von 0,2 nM - 0,2 mM bei pH 7 durchgeführt. Die Auswertung nach Freundlich ergibt zwei Isotherme (0,2 nM - 0,1  $\mu\text{M}$ :  $\log K_d = 3,48$ ; > 0,1  $\mu\text{M}$ :  $\log K_d = 0,17$ ).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- $^{14}\text{C}$ -Radiomarkierung von Fulvinsäure (Dialyse versus Ultrafiltration) und dessen Stabilitätsuntersuchungen hinsichtlich der Radiomarkierung mittels GPC
- Bestimmung von  $\log \beta$ -Werten für Fulvinsäure und divalentem  $[\text{}^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}$
- Bestimmung von Adsorptionskonstanten für  $^{14}\text{C}$ -markierten HA bei pH 7 mit Kaolinit
- Adsorptionsstudien im ternären System  $[\text{}^{65}\text{Zn}]\text{Zn}^{2+}/\text{HA}/\text{Kaolinit}$  unter Variierung von Zn- und HA-Konzentrationen unter naturnahen Bedingungen; „Linear-Additive-Modell“

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

A. Mansel, H. Kupsch: „Sorption studies with  $^{14}\text{C}$ -labelled humic acids.“ Annual Report 2004, IIF (2005), 39-41.

A. Mansel, B. Kuczewski, H. Hummrich, N. Trautmann, J. V. Kratz, H. Kupsch: „Complexation of  $^{212}\text{Pb}$  with humic acids.“ Jahresbericht 2004, Institut für Kernchemie, Uni Mainz (2005), C10.

A. Mansel, B. Kuczewski, H. Hummrich, N. Trautmann, J. V. Kratz, H. Kupsch: „Complexation of  $^{212}\text{Pb}$  with humic acids.“ Annual Report 2004, IIF (2005), 42-45.

A. Mansel: „Anwendung von  $^{14}\text{C}$ -markierten Huminstoffen für Sorptionsstudien unter naturnahen Bedingungen.“ BMWA/BMBF-Workshop: „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer.“, München, 04.-05.04.2005.

A. Mansel: „Labelling of Humic Substances with  $^{14}\text{C}$  and Their Use for Sorption Studies with Different Geomaterials.“ Oral Presentation, 5<sup>th</sup> International Conference on Isotopes 5ICI - Isotopes for Society, Brussels, Belgium, 25 - 29 April 2005.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38670 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 30.09.2005   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 eine Gasphase und über die Prozessformen, die dieses Verhalten steuern, erarbeitet werden.

Im experimentellen Programm werden laborative Messung der Gaspermeation an ungestörten Salzkernen und Untersuchungen der Kapillar- und Gassperrdrücke an Salzpresslingen und Sandsteinreferenzmaterial zur Korrelation der Prozessabläufe an dilatant aufgelockerten Salzkernen in Anwesenheit einer Lagenphase durchgeführt. In-situ-Gasinfiltation- und Gasfracversuche zur Bestimmung des Druckaufbaus (Sperr- bzw. Fracdruck) und Messung des Gastransportes 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

- Langzeittriaxial-Versuche mit einer Dauer von größer 200 Stunden an unterschiedlichem Probenmaterial (Material aus Bernburg, Salzpresslinge, Flechtinger-Sandstein)
- Fertigstellung einer neuen Pumpe zur Regelung des Radialdruckes; durch die neue Pumpe ist es möglich das Radialvolumen und damit das Porenvolumen der getesteten Kerne zu vermessen
- Weiterführung der Flutversuche zur Charakterisierung des Rissystems mit Hilfe der Computertomographie von dilatant verformtem Probenmaterial
- Beim In-situ-Langzeitdrucktest in der Grube Bernburg wurde der Gasdruck in einzelnen Stufen kontinuierlich erhöht. Das weitere Vorgehen bis zum Erreichen der minimalen Hauptspannung ist abgestimmt.
- Die Aufzeichnung der akustischen Emissionsmessung arbeitet seit Versuchsbeginn kontinuierlich. Zur Verbesserung der Messresultate und Unterdrückung der Arbeitsgeräusche wurden verschiedene Filter implementiert.

Der Fokus der letzten durchgeführten und momentan laufenden Versuche liegt auf dem Einfluss des Poreninnendruckes auf das Dilatanz- und Rissbildungsverhalten. Dabei deutet sich an, dass die mechanische Belastungskomponente einen größeren Einfluss auf das Permeationsverhalten hat als der Poreninnendruck. Die Auswirkungen der Anhydritschichtung in den Probenkörpern und der damit verbundene Einfluss auf das Permeationsverhalten wurden bei diesen Versuchen ebenfalls untersucht.

Zur besseren Einordnung der Referenzversuche an Salzpresslingen aus reinem NaCl wurden mit der Salzpresszelle Salzpresslinge ( $\varnothing = 60$  mm) aus zerkleinertem Steinsalz hergestellt. Obwohl die hergestellten Proben teilweise in den gleichen Porositäts- und Permeabilitätsklassen wie Salzpresslinge aus reinem NaCl liegen, weisen diese Proben ein deutlich anderes Permeations- und Rissbildungsverhalten auf. Aus den durchgeführten Versuchen ist zu erkennen, dass das Verhalten von Steinsalzpresslingen eher dem Verhalten von natürlichem Steinsalz entspricht als dem Verhalten von allen anderen im Rahmen dieses Projektes untersuchten Referenzproben.

### 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 31.10.2005   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>109.892,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Herbert                  |  |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung von statistisch abgesicherten Beziehungen zwischen dem 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**

Die Erfassung von chemischen und physikalischen Analysenergebnissen von Salzlösungszuflüssen wurde abgeschlossen. Insgesamt liegen bisher 5675 Lösungsanalysen in Tabellenform vor. Diese Daten stammen aus den ostdeutschen Kalirevieren Werra (263 Analysen), das Südharz (228 Analysen) Saale-Unstrut (1701 Analysen), Scholle von Calvörde (39) und Nordharz (3436). Weitere Analysen aus dem Nordharz aus Morsleben/Barthensleben liegen noch bei BfS vor. An das BfS wurde eine Anfrage gerichtet, diese Analysen in die vorliegende Sammlung mit aufnehmen zu dürfen. Eine Antwort steht noch aus.

Für die oben genannten Kalireviere wurde das relevante geologische Faktenmaterial in schematischen Schnitten und Grundrissen zusammengefasst. Damit wurden in einer übersichtlichen Weise die spezifischen hydrogeologischen Verhältnisse, wie der Zuflusspfad zum Speichergestein, die Lage des Speichergesteins und auch der Abflusspfad vom Speichergestein zur Austrittsstelle im Grubenfeld (AP 1 und AP 2) visualisiert. Für alle Kalireviere wurden drei Zuflusstypen definiert: A – Zuflüsse aus komplett entwickeltem Salzgebirge, B – Zuflüsse aus dem Auslaugungsrand der Lagerstätten und C – Zuflüsse aus bruchtektonisch beanspruchtem, teils ab- und ausgelaugtem Salzgebirge. Den drei Haupttypen wurden z. T. weitere Untertypen zugeordnet.

Aufgrund der Lösungszusammensetzung lassen sich theoretisch zu erwartende Dichten ausrechnen. Dies wurde getan. Der Vergleich mit den gemessenen Dichten wird als Teil der Qualitätsbetrachtung des Analysenmaterials durchgeführt. Ein solcher direkter Vergleich ist allerdings nur in wenigen Fällen aussagekräftig. Dafür muss bekannt sein, ob die angegebene Temperatur bei der Probennahme herrschte und ob der gesamte Lösungsinhalt bei der Probennahme auch analysiert worden ist. Mittels EQ3-Rechnungen wurden für alle Analysen Sättigungsrechnungen durchgeführt. EQ6-Rechnungen wurden mit den mineralogischen Zusammensetzungen des Salzgebirges durchgeführt aus dem die Lösungszutritte erfolgten. Daraus werden wahrscheinliche typische Zuflusszenarien konstruiert und die zeitliche und chemische Entwicklung der Laugenzusammensetzung aufgezeigt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Das Datenmaterial wird nach geologischen und chemischen Kriterien in Tabellen und Abbildungen aufbereitet. Gemessene Lösungszusammensetzungen werden mit solchen verglichen, die theoretisch im Gleichgewicht zu erwartend sind. Daraus werden Aussagen zu Szenarien typischer Lösungszuläufe und zu deren zeitlichen und chemischen Entwicklung abgeleitet. Bis Ende Oktober soll der Abschlussbericht vorliegen.

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

keine

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>407.425,00 EUR   |  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Mönig                    |  |

## 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

Der erste ELISA-Versuch wurde mit einem MVA-Filterstaub CA608 und IP21 durchgeführt und bereits im Dezember 2004 abgeschlossen. In gleichmäßigen zeitlichen Abständen wurden 13 Lösungsproben entnommen und analysiert.

Die Auswertung ergab: einen Abfall der Lösungsdichte von 1,315 auf 1,302 g/cm<sup>3</sup>, einen leichten Anstieg des pH-Wertes von 6,0 auf 6,5, einen deutlichen Abfall des Sulfatgehaltes der Lösung, einen schwachen Abfall des Mg-Gehaltes und einen Anstieg des Na-Gehaltes in der Lösung. Bei den Schwermetallen war der stärkste Konzentrationsanstieg beim Cd, von  $5 \cdot 10^{-3}$  auf  $1,7 \cdot 10^{-2}$  mol/l. Auch Pb und Zn wurden aus dem Filterstaub ausgelaugt, wenn auch weniger als Cd. Pb reicherte sich in der Lösung von  $8,0 \cdot 10^{-3}$  auf  $1,2 \cdot 10^{-2}$  mol/l an. Das Auslaugverhalten von Zn war unerwartet. Zunächst kam es erwartungsgemäß zu einem Anstieg. Dieser Aufwärtstrend kehrte sich jedoch nach der 4. Probennahme um. Durch den nun folgenden Abstieg wurde nach der 10. Probennahme die gleiche Konzentration in Lösung erreicht, wie nach der ersten ( $2,25 \cdot 10^{-2}$  mol/l).

Für den geplanten Vergleich der Ergebnisse von ELISA-Auslaugversuchen mit herkömmlichen Kaskaden-(Batch-)Versuchen wurden eine Reihe von neuen ELISA und Batch-Versuchen angesetzt, die z. Zt. noch laufen:

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, Wiederholungsversuch zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss und Auswertung der o. g. Versuche.

### 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 Isopiesticen Versuche im System  $\text{CuSO}_4\text{-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$  ergaben lineare Isoaktivitätslinien, es handelt sich also um ein so genanntes Zdanovskij-System. Aufgrund dieser ist die Datenlage in allen relevanten kupfer(II)haltigen Systemen nun ausreichend. Hiermit ist nun die Erarbeitung eines verbesserten vollständigen Parametersatzes für Cu(II) im quinären System der ozeanischen zu erstellen.

Die isopiesticen Versuche mit Lösungen der Systeme  $\text{CrCl}_3\text{-Cr}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{-K}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$  wurden bis zu einer Gesamtversuchdauer von fast sieben Monaten fortgesetzt. Zwischen den Ergebnissen der zweiten Probenahme (vier Monate) und der letzten Probenahme (sieben Monate) ließen sich in den rein sulfatischen Systemen keine signifikanten Änderungen mehr feststellen. Solche wurden hingegen bei den Chromchlorid-Lösungen beobachtet, wo die Wasseraktivitäten deutlich sanken. Dies ist ein Hinweis auf eine weitere Annäherung zu einem absoluten Gleichgewichtszustand. Ob er erreicht wurde, lässt sich nicht weiter klären. Da die Versuchsgefäße für weitere Versuche benötigt wurden, mussten die Experimente abgebrochen werden. Überprüfungs-messungen zu Chrom(III)-Systemen werden gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden. Koeffizienten von  $\text{CrCl}_3$  und  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  liegen deutlich unter den einzigen verfügbaren Messwerten von Smith (1947). Die Abweichungen werden noch zu diskutieren sein. Wir gehen aber aufgrund unabhängiger Kontrollanalysen davon aus, dass unsere Messwerte verlässlich sind.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Potentiometrische pH-Titrationen von Lösungen der Säuren  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  oder  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  in NaCl, KCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oder  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .

UV-spektrophotometrische pH-Titrationen an ausgewählten chromathaltigen Lösungen

Erstellung eines Parametersatzes für Cu(II), Co(II), Mn(II) und  $\text{As}_2\text{O}_3(\text{aq})$ .

### 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

Die Bestimmung der Löslichkeiten von amorpher Kieselsäure bei einer Temperatur von 65 °C in Lösungen der Salze des ozeanischen Systems wurde abgeschlossen. In dem zweiten Quartal wurde mit den Löslichkeitsmessungen bei 85 °C begonnen, wobei die höheren Temperaturen das eingesetzte Equipment stärker beeinträchtigen. Die z. Zt. 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>

Voruntersuchungen zu den Löslichkeitsmessungen von Al haben bereits stattgefunden, diese Arbeiten werden im Anschluss an die Löslichkeitsmessungen für Si durchgeführt.

Angebote zur Herstellung der Minerale Friedelsches Salz und Ettringit wurden eingeholt. Z. Zt. wird ein möglicher experimenteller Aufbau der Löslichkeitsmessungen getestet. Des Weiteren werden in diesem Monat die Mineralphasen Wollastonit und Forsterit eintreffen.

### 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 (85 °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.

AP3: An einigen ausgewählten Silikaten, Aluminaten und Alumosilikaten sollen Löslichkeitsmessungen in verschiedenen Salzlösungen bei unterschiedlichen Temperaturen (bis 90 °C) durchgeführt werden.

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 28.02.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>158.690,00 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

Im vorherigen Berichtszeitraum waren in AP2 für den ausgewählten Steinsalztyp Asse-Speisesalz (z2SP) die Werte der Stoffgesetzparameter des in diesem Teilprojekt verwendeten Composite-Dilatanz-Modells (CDM) bestimmt worden. Die Nachrechnungen der Laborversuche mit diesen Parametern in AP3 erfolgte zunächst semi-analytisch mit dem neu entwickelten Mathcad-Programm zur Berechnung von verformungs- und spannungsgeregelten Laborversuchen.

Im gegenwärtigen Berichtszeitraum wurden vier der Versuche mit der ebenfalls entwickelten C++-Version des CDM in FLAC-2D nachgerechnet. Dabei wurde zunächst die erfolgreiche Erstellung und Implementation des C++-Moduls in FLAC anhand von zwei Rechnungen mit Ein-Element-Modellen verifiziert. Anschließend wurde die Austonnung der Zylinderproben in zwei Festigkeitsversuchen (Versuche mit konstant vorgegebener Verformungsgeschwindigkeit in Kompression) mit einem aus 500 Elementen bestehenden Modell in guter Übereinstimmung mit experimentellen Befunden simuliert.

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 des CDM an Laborversuchsdaten bestimmt. Mit diesen Parameterwerten werden zur Zeit die FDM-Rechnungen mit FLAC-2D in AP6 (Modellrechnungen, Teil 2) durchgeführt. Dabei wird zum einen ein vertikaler Schnitt durch die Umgebung der horizontalen Maschinenstrecke EU1 gerechnet (AP6a), zum anderen wird ein von allen Partnern gemeinsam entworfenes Kammer-Pfeiler-Modell nachgerechnet (AP6b), das eine typische Untertagesituation darstellt und in besonderem Maße die Modellierung der Auflockerung (Dilatanz) mit dem jeweiligen Stoffgesetz demonstriert.

Neben den genannten Arbeiten hat sich der Autor an der Vorbereitung der beiden am 02.02. und 28. + 29.04. durchgeführten Workshops beteiligt. Auf ihnen wurden die Ergebnisse der Parameterbestimmungen und Modellrechnungen vorgestellt und diskutiert sowie die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen vereinbart. Außerdem wurden im Hinblick auf die Erstellung der Einzelberichte der Verbundpartner in AP7 einheitliche Ergebnisdarstellungen und Themen festgelegt, die die vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse in AP8 erleichtern werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2005 werden weitere Modellrechnungen zu den Untertagestrukturen aus AP6 (Maschinenstrecke EU1 und Kammer-Pfeiler-Modell) durchgeführt und die Ergebnisse auf dem nächsten, für September geplanten Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert werden. Außerdem wird programmgemäß der Einzelbericht zum vorliegenden Teilprojekt in AP7 erstellt werden, in dem das Composite-Dilatanz-Modell, das Verfahren und die Ergebnisse der Parameterbestimmung sowie die Ergebnisse der Modellrechnungen dokumentiert 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, 30631 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 28.02.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>115.855,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Hunsche                  |   |

## 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 Teilvorhaben 2 beteiligt sich mit dem Composite-Dilatanz-Modell an dem Stoffgesetzvergleich. Die Modellierungen werden mit dem Finite Elemente Programm JIFE durchgeführt. Dieses Programm ist modular aufgebaut und wurde in Zusammenarbeit mit der Firma SRD, Berlin, weiterentwickelt, so dass nun die Prozesse Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch und Nachbruchverhalten modelliert werden können. Damit sind die Programmierarbeiten zu JIFE im Verbundvorhaben vorläufig abgeschlossen, die Module werden getestet und zur Nachrechnung der Laborversuche (AP 3) eingesetzt. Im Anschluss daran wird mit der Modellierung der Untertagestrukturen begonnen (AP 6).

Im Berichtszeitraum wurden gemeinsam mit Dr. A. Hampel am 2. Februar und am 28./29. April 2005 zwei Workshops in Hannover und Clausthal-Zellerfeld vorbereitet und durchgeführt. Hierbei haben die Projektpartner ihre Ergebnisse ausgetauscht und gemeinsam diskutiert. Die ergänzenden Laborversuche wurden im Berichtszeitraum fortgesetzt und die Daten den Projektpartnern zur Verfügung gestellt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im 2. Halbjahr 2005 werden die Arbeiten zu AP 6 (Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz) fortgesetzt. Hierfür wurde gemeinsam mit den Projektpartnern eine Untertagemessstrecke ausgewählt sowie ein synthetisches Modell einer Kammer – Pfeiler – Situation entwickelt. Die Ergebnisse werden auf dem nächsten Workshop am 21./22. September in Karlsruhe vorgestellt und mit den Resultaten der Projektpartner verglichen. Nach Abschluss dieser Arbeiten wird der Einzelbericht erstellt (AP 7) und die vergleichende Zusammenstellung vorbereitet (AP 8).

### **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><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 28.02.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 und dem erweiterten Dehnungs-Verfestigungsansatz (EDVA) an dem Stoffgesetzvergleich. Im Berichtszeitraum erfolgte der Abschluss der Weiterentwicklung des EDVA sowie die Nachrechnung von Laborversuchen an Asse-Speisesalz (AP2 und AP3) mit beiden Ansätzen. Weiterhin wurde eine C++-Version des EDVA mit Hilfe des UDM-Moduls (für *user defined models*) für eine erste Testphase erstellt, 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. 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 werden zur Zeit die FDM-Rechnungen mit FLAC-2D in AP6 (Modellrechnungen, Teil 2) durchgeführt. Dabei wird zum einen ein vertikaler Schnitt durch die Umgebung der horizontalen Maschinenstrecke EU1 gerechnet (AP6a), zum anderen wird ein von allen Partnern gemeinsam entworfenes Kammer-Pfeiler-Modell nachgerechnet (AP6b), das eine typische Untertagesituation darstellt und in besonderem Maße die Modellierung der Auflockerung (Dilatanz) mit dem jeweiligen Stoffgesetz demonstriert. Neben den genannten Arbeiten hat sich das IfG an der Vorbereitung der beiden am 02.02. und 28. + 29.04. durchgeführten Workshops beteiligt. Auf ihnen wurden die Ergebnisse der Parameterbestimmungen und Modellrechnungen vorgestellt und diskutiert sowie die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen vereinbart. Außerdem wurden im Hinblick auf die Erstellung der Einzelberichte der Verbundpartner in AP7 einheitliche Ergebnisdarstellungen und Themen festgelegt, die die vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse in AP8 erleichtern werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2005 werden weitere Modellrechnungen zu den Untertagestrukturen aus AP6 (Maschinenstrecke EU1 und Kammer-Pfeiler-Modell) durchgeführt und die Ergebnisse auf dem nächsten, für September geplanten Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert. Außerdem wird programmgemäß 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 wird die Programmierung und der Test einer C++-Version des EDVA mit Hilfe des UDM-Moduls (für *user defined models*) abgeschlossen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2a,<br>38670 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 28.02.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 vorherigen Berichtszeitraum waren in AP2 für den ausgewählten Steinsalztyp Asse-Speisesalz (z2SP) die Werte der Stoffgesetzparameter des in diesem Teilprojekt verwendeten Stoffmodell *Hou/Lux* bestimmt worden. Die Nachrechnungen vier der Kriechversuche (ein davon bis in die tertiäre Kriechphase hinein) mit diesen Parametern in AP3 erfolgten zunächst analytisch und dann teilweise numerisch mit dem FEM-Programm MISES3. Das Berechnungsmodell wurde sowohl mit wie auch

ohne Stahlplatte diskretisiert. Aus dem Vergleich zwischen den analytischen und numerischen Berechnungsergebnissen ist festzustellen, dass das Berechnungsmodell ohne Stahlplatte im Prinzip einem Ein-Element-Modell entspricht und daher die gleichen Ergebnisse wie die analytischen Ergebnisse liefert. Diese Übereinstimmung ist auch ein Beleg für die richtige Implementierung des Stoffmodells *Hou/Lux* im FEM-Programm MISES3. Da die Versuchsergebnisse uneinheitlich sind und damit eine große Bandbreite repräsentieren, müssten für eine gute Übereinstimmung zwischen allen analytischen und experimentellen Kriechdeformationen zwei Vorfaktoren (jeweils für das transiente und das stationäre Kriechverhalten) eingeführt werden. Die Laborergebnisse der Festigkeitsversuche wurden analytisch mit einem eigen entwickelten C++ Programm in guter Übereinstimmung mit experimentellen Befunden nachgerechnet.

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 des Stoffmodells *Hou/Lux* an Laborversuchsdaten bestimmt. Mit diesen Parameterwerten werden zur Zeit die numerischen Berechnungen in AP6 (Modellrechnungen, Teil 2) durchgeführt. Dabei wird zum einen ein vertikaler Schnitt durch die Umgebung der horizontalen Maschinenstrecke EU1 gerechnet (AP6a), zum anderen wird ein von allen Partnern gemeinsam entworfenes Kammer-Pfeiler-Modell nachgerechnet (AP6b), das eine typische Untertagesituation darstellt und in besonderem Maße die Modellierung der Auflockerung (Dilatanz) mit dem jeweiligen Stoffgesetz demonstriert. Neben den genannten Arbeiten hatten Mitarbeiter dieses Vorhabens (Prof. Lux, PD Hou, Dr. Düsterloh und Dipl. Eberth) an beiden am 02.02. in der BGR und 28.+29.04. an der TU Clausthal durchgeführten Workshops teilgenommen. Auf ihnen wurden die Ergebnisse der Parameterbestimmungen und Modellrechnungen vorgestellt und diskutiert sowie die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen vereinbart. Außerdem wurden im Hinblick auf die Erstellung der Einzelberichte der Verbundpartner in AP7 einheitliche Ergebnisdarstellungen und Themen festgelegt, die die vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse in AP8 erleichtern werden.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2005 werden weitere Modellrechnungen zu den Untertagestrukturen aus AP6 (Maschinenstrecke EU1 und Kammer-Pfeiler-Modell) durchgeführt und die Ergebnisse auf dem nächsten, für September geplanten Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert werden. Außerdem wird programmgemäß der Einzelbericht zum vorliegenden Teilprojekt in AP7 erstellt werden, in dem das *Hou/Lux* Stoffmodell, das Verfahren und die Ergebnisse der Parameterbestimmung sowie die Ergebnisse der Modellrechnungen dokumentiert 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 28.02.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

Im vorherigen Berichtszeitraum waren die Werte der Stoffgesetzparameter (AP2) für den ausgewählten Steinsalztyp Asse-Steinsalz (z2SP) des in diesem Teilprojekt verwendeten IUB-MDCF Stoffgesetzes bestimmt worden. Mit den ermittelten Parametern wurden erste Nachrechnungen auf semi-analytischer Basis mit dem Programmsystem Mathcad durchgeführt und präsentiert.

Im gegenwärtigen Berichtszeitraum wurden weitere Arbeiten an der Parameterermittlung für das Asse-Speisesalz durchgeführt, um die zur Verfügung stehenden Versuche genauer nachrechnen zu können. Die abschließenden Ergebnisse der Arbeiten an den Arbeitspaketen AP2 und AP3 werden im Rahmen des verbleibenden Zeitraumes des Verbundprojektes nachgereicht, da diese zum Workshop am 02.02.2005 in Hannover noch nicht beendet waren.

Weiterhin wurden in AP5 die Werte der primären und sekundären Stoffgesetzparameter für das Steinsalz aus dem Untertagebereich der Maschinenstrecke EU1 der Grube Sondershausen bestimmt und mit einem Standardsatz der Parameter für Schädigung ergänzt. Die vom IfG Leipzig zur Verfügung gestellten Versuchsdaten bildeten dabei die Basis zur Parameterbestimmung und ließen sich mit dem ermittelten Parametersatz gut nachrechnen. Zur Zeit werden die FEM Rechnungen mit dem Programmsystem UT2D in AP6 durchgeführt, erste Ergebnisse wurden auf dem Workshop am 28. und 29.04.2005 bereits vorgestellt. Im Einzelnen umfasste die Präsentation folgende Ergebnisse:

- Ergebnis der Nachrechnungen von 3 Kriechversuchen
- Verlauf der kleinsten berechneten Hauptspannung über ein horizontales Bohrloch gegenüber der gemessenen Spannung
- Vergleich der berechneten minimalen Hauptspannungskomponente mit den vorliegenden Ergebnissen des IfG Leipzig
- Berechnete Firstverschiebung über den gesamten Beobachtungszeitraum
- Vergleich der berechneten Dilatanzonen mit der gemessenen Permeabilität
- Darstellung der berechneten Schädigung

Auf dem Workshop am 28./29.04. in Clausthal wurden außerdem die von allen Projektpartnern zu berücksichtigenden Randbedingungen für die zu rechnenden Untertagestrukturen (Maschinenstrecke EU1 und Kammer-Pfeiler-Modell) erarbeitet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2005 werden weitere Modellrechnungen zu den Untertagestrukturen aus AP6 (Maschinenstrecke EU1 und Kammer-Pfeiler-Modell) durchgeführt und die Ergebnisse auf dem nächsten im September stattfindenden Workshop präsentiert und mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert. Des Weiteren wird programmgemäß der Einzelbericht zum vorliegenden Teilprojekt in AP7 erstellt werden, in dem das IUB-MDCF Modell, das Verfahren und die Ergebnisse der Parameterbestimmung sowie die Ergebnisse der Modellrechnungen dokumentiert 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 28.02.2006   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 letzten Jahr begonnenen Nachrechnungen von Kriech- und Festigkeitsversuchen wurden fortgesetzt. Das Nachbruch-Verhalten von Steinsalz in den Kurzzeitfestigkeitsversuchen wurde in diesem Berichtszeitraum nicht weiter untersucht, da für die unmittelbar nachstehenden Rechenaufgaben (AP-6) solche Bruchphänomene nicht zu erwarten sind.

Im Hinblick auf die Modellierung des Konvergenzverhaltens und der Dilatanzentwicklung um die Maschinenstrecke EU-1 im Bergwerk Sondershausen, wurden die Stoffgesetzparameter an die Versuchsergebnisse vom IfG - Leipzig angepasst. Die Auswertung dieser Laborversuche zeigte, dass die Kurzzeitversuche für die Modellierung der EU-1 Strecke über einen Zeitraum von ca. 40 Jahren nicht geeignet sind. Aus diesem Grund wurden nur die Kriechversuche betrachtet.

Wie im Rahmen des Arbeitspakets AP6 (Teil 1) vorgesehen, wurde die numerische Simulation der EU-1 Strecke in der Grube Sonderhausen durchgeführt. Das Ziel dieser Modellrechnung war die Validierung der entwickelten Stoffgesetze und deren Implementierung in FuE-Programmen am Beispiel eines realen Problems. Die Rechenergebnisse sollten mit den Verbundpartnern diskutiert und mit den Messergebnissen verglichen werden.

Ausgehend von der Geometrie der EU1 Strecke (kreisförmiger Querschnitt und sehr lange Ausdehnung in horizontaler Richtung) wurde zunächst ein 1D-Modell (ein flacher Hohlzylinder) betrachtet. Weiterhin wurde auch ein 2D-Modell d. h. ein Quadrant des vertikalen Querschnittes berechnet. Die Spannungsrandbedingungen wurden entsprechend der In-situ-Messungen vorgegeben. Der Einfluss von verschiedenen Stoffmodellparametern auf die Rechenergebnisse wurde untersucht. Die berechneten Konvergenzraten, die Minimalspannungen und die Entwicklung der Permeabilität im Salz wurden mit den Messungen verglichen. Die berechneten und gemessenen Konvergenzraten sowie der minimalen Spannungsverlauf nach 40 Jahren der Streckenerstellung weisen eine gute Übereinstimmung auf. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass mit der verwendeten, vorläufigen Beziehung zwischen der Volumendehnung und der Permeabilität die Ausdehnung der Auflockerungszone um die Strecke etwas überschätzt wird. Momentan wird eine neue Formulierung auf der Basis von BGR-Messungen implementiert. Im Rahmen des Arbeitspakets AP6 (Teil 2) sind weitere Rechnungen zur EU1 Strecke anhand eines komplexen geometrischen Modells bei dem die tiefeabhängigen Druckrandbedingungen berücksichtigt werden sollen, geplant.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2005 werden weitere Modellrechnungen zu den Untertagestrukturen aus AP6 (Maschinenstrecke EU1 und eine fiktive Kammer-Pfeiler-Struktur) durchgeführt und die Ergebnisse auf dem nächsten, für September geplanten Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert. Außerdem wird die Arbeit zur Erfassung des Post-Failure-Verhaltens von Steinsalz, auf der Basis von der BGR zur Verfügung gestellten Versuchsergebnissen, fortgesetzt. Anschließend wird programmgemäß der Einzelbericht zum vorliegenden Teilprojekt in AP7 erstellt, in dem das Stoffmodell, das Verfahren und die Ergebnisse der Parameterbestimmung sowie die Ergebnisse der Modellrechnungen dokumentiert werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Pudewills, A., *Numerical modelling of a backfilled drift in a waste repository*, Proc. of the 4th Internat. Conf. on Engineering Computational Technology, Lisbon, P, Sept.7-9, 2004, Topping, B.H.V. [Ed.], Civil-Comp Press, 2004, ISBN 0-948749-96-2.

Pudewills, A., *Numerical Modelling of the long term Evolution of EDZ*, International Seminar: ECOMINING-EUROPE IN THE 21<sup>ST</sup> CENTURY, 27-29 Oct. 2005, Sovata & Praid salt mine, Romania. (in print)

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität<br>Weimar, Amalienstraße 13, 99404 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 halbtechnischen Versuchen zur Detektion der räumlichen und zeitlichen Flüssigkeitsausbreitung in Bentonitdichteelementen. Hydraulische Modellierung auf Grundlage von messtechnisch ermittelten Feuchte- und Dichteverteilungen. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse soll ein Messsystem für den Einsatz in horizontalen Verschlussbauwerken entworfen werden. Test des Messverfahrens in Verschlusselementen eines Verschlussbauwerkes in einer Strecke im Carnallitit. Weitere Anwendungen des Messverfahrens in Verschlussbauwerken in Untertagedeponien und im Endlagerbereich. Perspektivischer Einsatz in Monitoringsystemen mit implantierten Sensoren im Bauwesen, zur Signalisierung von Deichbrüchen, Lawinen und Muren, in der Landwirtschaft, zur Überwachung von Getreidesilos und zur Bestimmung der Bodenfeuchte.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Untersuchungen zu dielektrischen Materialeigenschaften
- AP2: Elektromagnetische Feldsimulationen zur Rekonstruktion von Feuchte-/Dichteverteilung
- AP3: Quantifizierung von Feuchte und Dichte mit koaxialer Messleitung und Kabelsensor
- AP4: Ortsdiskretisierung von Feuchteprofilen
- AP5: Erfassung der räumlichen Feuchte- und Dichteverteilung
- AP6: Bestimmung von Feuchteprofilen in Abhängigkeit vom Druck
- AP7: Anwendung des TDR-Messsystems in halbtechnischen Versuchen
- AP8: Hydraulische Modellierung der Feuchteausbreitung
- AP9: Konzeption und Entwurf eines Messgerätesystems für den Untertageinsatz zur quantitativen Bewertung von Feuchte- und Dichteprofilen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP1/AP3/AP4:

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.
- Rekonstruktion von ortsaufgelösten Feuchte- und Dichteverteilungen entlang des TDR-Messkabels aus den gemessenen TDR-Signalen.

Für die experimentelle Überprüfung des dielektrischen Mischungsverhaltens verschieden strukturierter poröser, wasseraufnehmender Stoffe wurde ein Messplatz zum Erfassen der dielektrischen Eigenschaften von unterschiedlich feuchten und dichten Materialproben aufgebaut. Dieser Messplatz besteht aus:

- 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),
- 2 Netzwerkanalysatoren (NWA 1: 10kHz bis 4GHz, NWA 2: 50 MHz bis 20GHz) zum Messen der S-Parameter der im Applikator befindlichen Messprobe,
- einem PC zur Berechnung der komplexen Permittivität der Materialprobe aus den gemessenen S-Parametern,
- Einrichtungen zur Probenvorbereitung und zur Bestimmung der gravimetrischen Eigenschaften (Feuchte, Dichte bzw. Porosität) der Messproben.

#### AP6/AP9:

Aus den bisherigen Betrachtungen und experimentellen Untersuchungen zur Rekonstruktion einer ortsaufgelösten Feuchte- und Dichteverteilung wurde anstelle des einfachen TDR-Messkabels ein TDR-Doppelmesskabel mit längendefinierten dielektrischen Markierungen für eine genauere Ortsdiskretisierte Feuchte- und Dichteauflösung konzipiert. Die Erprobung dieses Kabels wird zuerst unter Laborbedingungen im MFPA-Druckversuchsstand und anschließend als halbtechnischen Versuch im 30-cm-Druckrohr erfolgen.

#### **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 des mit längendefinierten dielektrischen Markierungen versehenen TDR-Doppelmesskabels und Begleitung der Simulation durch entsprechende Laborversuche. Kalibriersimulation mit dem TDR-Doppelmesskabel und vergleichende Laborversuche mit unterschiedlich feuchten und dichten Bentonitproben.

AP6: Test des TDR-Doppelmesskabels im umgebauten und mit Druckmesssensoren ausgerüsteten MFPA-Druckversuchsstand.

AP7: Halbtechnische Versuche im 30-cm-Druckrohr zur Erprobung des Doppelmesskabels für den Einsatz im konzipierten Untertage-TDR-Messsystem.

AP9: Implementierung der Steuer- und Messprogramme und Erprobung der TDR-Komponenten für das Untertage-TDR-Messsystem.

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30631 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

Fertigstellung des Konzeptes der Homogenisierung des Auswertesystems für die Messdaten der richtungssensitiven Bohrlochsonde.

Um die Vereinheitlichung und Neustrukturierung des EMR-Auswertesystem der BGR durchzuführen, wurde die Programmbibliothek Qt gewählt die es ermöglicht die Auswertung plattformunabhängig zu gestalten. Qt ist eine Programmbibliothek der Firma Trolltech die sehr erfolgreiche ist und am EDV-Markt eine große Verbreitung erlangt hat.

Die Qt-Bibliothek ist eine Programmbibliothek zur Erstellung von Anwendungen mit grafischer Oberfläche. Sie enthält viele flexible Bausteine (Widgets). Diese reichen von einfachen Knöpfen (Buttons) und Textfeldern bis zu komplexen, konfigurierbaren Dialogen, wie beispielsweise dem "Datei-Öffnen" Dialog.

Die gesamte Bibliothek wurde in C++ geschrieben und hält sich streng an die Ideen der Objektorientierten Programmierung. Dadurch ist sie sehr leicht erweiterbar.

Die Qt-Bibliothek ist Cross-Plattform fähig:

- Unix/X11 (Linux, Sun Solaris, HP-UX, Digital Unix, IBM AIX, SGI IRIX, u. s. w)
- MS Windows (95, 98, NT, 2000, XP)
- Embedded (Linux mit Framebuffer)

Hiermit konnten für das EMR-Auswerteprogramm die Datenauswahl-, Dateneinlese- und einige Darstellungsroutinen fertig gestellt werden.

Für die Entwicklung der Datenerfassungs- und Steuersoftware konnte ein Ingenieur eingearbeitet werden. Erste Untersuchungen dienten den Ablauf und die Struktur der Steuer- und Datenerfassungssoftware zu gestalten.

Für die Verbesserung der Aussagemöglichkeiten von EMR-Messungen (Radargrammen) wurden anhand von laufenden Auswertearbeiten in das Konzept der Auswertung neue Horizontalfilter eingearbeitet. Weiterhin wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, die sich vor allem auf die Anwendbarkeit neuronaler Netze in der Klassifizierung von Reflexionen ausrichtete.

### 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, 42097 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 Montantechnologie GmbH (DMT) in Essen durchgeführt. Zur Erläuterung der Gesamtziele des Verbundvorhabens siehe Zwischenbericht der BGR.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Teilvorhaben „Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems“ umfasste im Berichtszeitraum die Arbeitspunkte:

- AP1 Untersuchungen von Antennen und Signalmodi, durchgeführt im Bereich „Höchstfrequenztechnik“, Prof. Chaloupka
- AP2 Feldtheoretische Modellierungen, im Bereich „Theoretische Elektrotechnik“, Prof. Hansen
- AP3 Vergleich von Konzepten der Analog- und Digitalelektronik, im Bereich „Messtechnik“, Prof. Glasmachers.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP1, AP4: Entwicklung und Konstruktion des HF-Teils der Empfangsantenne

Nachdem im vorherigen Berichtszeitraum die Antennenstruktur hinsichtlich der Gestaltung der Strahleranordnung in Hinblick auf die Richtcharakteristik und die Maximierung des Strahlungswirkungsgrads dimensioniert wurde, lag ein Schwerpunkt der Arbeit in diesem Berichtszeitraum auf weiteren hochfrequenztechnischen Fragestellungen. Diese ergaben sich aus der Notwendigkeit der Integration von Hardware wie des analogen und digitalen Frontends, der Energieversorgung und der Kommunikationseinheit zur Datenverbindung zwischen Sende- und Empfangsantenne. Für die Datenverbindung stehen alternativ Koaxialverbindungen, Lichtwellenleiter und Funkstrecken zur Auswahl. Diese Maßnahmen haben unterschiedliche Konsequenzen für das Übersprechen zwischen der Sende- und Empfangsantenne, das zu Übersteuern des Empfangssystems und Überdeckung von erwünschten Echos führen kann, weiterhin können diese die Richtcharakteristik des Antennensystems verändern. Eine Funkstrecke im Mikrowellenbereich mit dielektrischen Wellenleitern bietet in diesem Zusammenhang neben einer geringen Beeinflussung des Antennensystems den Vorteil einer höheren Robustheit gegen äußere Einflüsse als ein System mit metallischen oder optischen Übertragungsmedien und den dort verwendeten Steckverbindungen. Für die Integration der Elektronik in die Empfangsantenne ist ein metallischer Behälter vorgesehen, dessen Einfluss auf die Antenneneigenschaften untersucht wurde. Die Konstruktion für einen ersten Antennendemonstrator wurde durchgeführt und die mechanische Fertigung in Auftrag gegeben. Das Konzept zur Nutzung adaptiver rekonfigurierbarer Eigenschaften der Antennen zur Verbesserung der Abbildungsleistung des Gesamtsystems wurde weiterentwickelt. Dabei ergaben sich für die in diesem Anwendungsfall auftretende Konstellation aus schmalbandiger Empfangsantenne und relativ breitbandigen einfallenden Impulsen neuartige systemtheoretische und hochfrequenztechnische Überlegungen.

AP5: Erweiterte feldtheoretische Modellierungen

Ausgehend von einer Spektralbereichsdarstellung wurde die Greensche Funktion der zylindersymmetrischen, mehrschichtigen Anordnung weiter untersucht. Die Ortsbereichsdarstellung der Greenschen Funktion ergibt sich aus der Spektralbereichsdarstellung durch eine inverse Fouriertransformation. Das dabei zu berechnende Integral zeichnet sich durch eine schnelle Oszillation des Integralkerns aus, falls der axiale Abstand zwischen Quell- und Aufpunkt von Null verschieden ist. Um das Integral dennoch einer numerischen Berechnung zugänglich zu machen, wurden verschiedene Techniken (z. B. eine spektrale Filterung und ein Aufspalten des Integrationskerns) entwickelt. Die so gewonnene Darstellung wurde für Spezialfälle mittels quasistatischer Spiegelquellen verifiziert und die Greensche Funktion der Schichtstruktur wurde dann im Rahmen eines Integralgleichungsverfahrens für Drahtantennen implementiert. Mit dem so entwickelten Computer-Programm wurden dann erste Untersuchungen bezüglich der Auswirkungen der Schichtstruktur auf die Eingangsimpedanz von – sich in der Schichtstruktur befindlichen – Dipolen durchgeführt. Zusätzlich wurde das Programm dahingehend erweitert, dass Richtdiagramme von Antennen in zylindrischen Bohrlöchern bestimmt werden können.

AP3, AP6: Analog- und Digitalelektronik

Nachdem in der vorangegangenen Projektphase die Eigenschaften von schnellen Analog/Digital-Umsetzern insbesondere in Bezug auf Bandbreite und Dynamikbereich untersucht wurden, wurde in der Berichtsphase mit der Untersuchung von Möglichkeiten und Grenzen für die analoge Signalvorverarbeitung begonnen. Dazu wurden zunächst die beiden konkurrierenden Verstärkerkonzepte (klassischer HF-Verstärker gegenüber Breitband-Operationsverstärker), die für völlig unterschiedliche Anwendungsfelder konzipiert sind, messtechnisch untersucht, um die verschiedenen Spezifikationsarten von wichtigen Kenngrößen wie Rauschen, Dynamikbereich und Übersteuerungs-Erholverhalten auf eine gemeinsame und damit vergleichbare Basis zu stellen. Hierbei zeigt sich, dass vor allem die „current-feedback“ Operationsverstärker im interessierenden Frequenzbereich um 50 MHz für Systeme hoher Dynamik deutliche Vorteile versprechen.

Bei den verfügbaren „variable gain amplifiers“ (VGA) zeigten erste Untersuchungen leider, dass die Steuerbandbreite für die erforderliche schnelle Anpassung der Verstärkung an die Signalamplituden nicht ausreicht bzw. durch die Steuerung unzulässig große Störkomponenten in das Nutzband gefaltet werden. Deshalb erscheint zur Zeit eine kontinuierliche Verstärkungsanpassung an die Streckendämpfung nicht sinnvoll realisierbar. Eine Anpassung der Verstärkung in diskreten Stufen ist dagegen mit neuen HF-CMOS-Schaltern mit vernachlässigbar kleiner Einfügungsdämpfung möglich.

**4. Geplante Weiterarbeiten**

AP4: Die Untersuchungen zur Verbesserung der Antennen- und Systemparameter sollen fortgesetzt werden. Der Schwerpunkt soll dabei weiterhin auf der Optimierung des Signal-zu-Rausch Abstands im Empfangssystem gelegt werden, wobei durch Maßnahmen wie Rekonfigurierbarkeit der Empfangsantenne durch umschaltbare Antennenparameter und veränderbare Ankopplung an das Verstärkersystem noch Verbesserungsmöglichkeiten erkennbar sind. Weiterhin soll ein detailliertes theoretisches Modell des Gesamtsystems aufgebaut werden, mit dem durch analytische Betrachtungen und Rechnersimulationen der Einfluss aller Systemparameter und Randbedingungen auf die Funktion und Leistungsfähigkeit des gesamten Bohrloch-Antennensystems untersucht werden können. Außerdem sollen weitere Subsysteme als Demonstrations- und Experimentierprototypen aufgebaut und untersucht werden, um Funktionsprinzipien zu verifizieren und kommerzielle Bauteile und Komponenten auf ihre Eignung hin zu untersuchen.

AP5: Im Folgezeitraum sollen zunächst weitere Untersuchungen bezüglich des Einflusses der Umgebung auf die Eigenschaften von Antennen in zylindrischen Bohrlöchern durchgeführt werden. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Untersuchungen soll das strenge Verfahren für zylindersymmetrische Anordnungen dahingehend erweitert werden, dass unsymmetrische Fälle modelliert werden können. Hierbei soll insbesondere der Fall untersucht werden, dass der Antennenträger im Bohrloch nicht zentriert ist, sondern unsymmetrisch im Bohrloch positioniert ist.

AP6: Im nächsten Schritt soll eine analoge Vorverarbeitungseinheit mit diskreten Verstärkungsfaktoren mit einem Analog/Digital-Umsetzer gekoppelt werden, so dass dann eine erste reale Messwerterfassung für einen Empfangskanal durchgeführt werden kann. Dabei sollen auch Möglichkeiten für die Erzeugung und Einspeisung von Test- und Kalibriersignalen mit untersucht werden.

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Deutsche Montan Technologie GmbH, Am Technologiepark 1,<br>45291 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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.

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

Das Teilvorhaben II gliedert sich in die beiden Arbeitspakete:

AP1 Entwicklung und Bau der Bohrlochsonde

AP2 Entwicklung und Bau der Datenerfassungseinheit

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In diesem Berichtszeitraum wurden die grundlegenden Anforderungen/Betriebsparameter, Module und Funktionsblöcke definiert:

Das zu entwickelnde Bohrlochradarsystem soll sowohl in übertägigen Vertikal- und Horizontalbohrungen, als auch in untertägigen Bohrungen eingesetzt werden. Explosionsschutz Maßnahmen sind nicht zu treffen.

Der Teufenbereich für den Einsatz von Übertage wurde im Vorfeld auf 600 m festgesetzt. Es resultiert hieraus eine Druckfestigkeit bei Einsatz in Wasser von mindestens 60 bar. Unter Berücksichtigung von einer abwei-

chenden Spüldichte, erhöhter Umgebungstemperatur und einer Sicherheit, muss für das System letztendlich eine Druckfestigkeit von 100 bar bei einer Umgebungstemperatur von 70 °C gefordert werden.

Die Definition des Systemdurchmessers ist ein Ergebnis von Voruntersuchungen der BUW und anwendungsspezifischen Aspekten. Eine Verbesserung der Richtungsempfindlichkeit bei einer gleichzeitigen Reduktion des Sondendurchmessers scheint im ersten Ansatz nicht realisierbar. Die Durchmessersprünge wiederum sind abhängig von den eingesetzten Bohrgestängen, die größtenteils standardisiert sind. Zur Entscheidung stand der Einsatz der sog. NQ (Kronenaußendurchmesser 74 mm) oder HQ Bohrgestänge (Kronenaußendurchmesser 96 mm) an. Der Einsatz in „NQ Bohrlöchern“ würde zu einem Sondaußendurchmesser von ca. 65 mm führen, bei „HQ Bohrlöchern“ ist ein Außendurchmesser bis 85 mm möglich. Der Außendurchmesser von 85 mm wurde für das System ausgewählt.

Für den untertägigen Einsatz ist die Länge der einzelnen Sonderelemente von besonderer Bedeutung, da ein gefahrloser Transport nach untertage gewährleistet sein muss. Der Erfahrung nach ist hier eine Elementlänge von 2 m ein praktikabler Wert.

Die festgelegte Bohrungslänge 600 m sollte sicher in einer Schicht (max. 8 Stunden) bei einer Messung pro Meter vermessen werden können. Zur Ermittlung der Messzeit muss die Datenübertragungsgeschwindigkeit (ca. 12,5 s) und die Arbeitsgeschwindigkeit der Windenanlage betrachtet werden. Die Arbeitsgeschwindigkeit einer Bohrlochkabelwinde liegt im Durchschnitt bei 36 m/min. Fahren, bremsen und beschleunigen stehen ungefähr im Verhältnis 1/3 zueinander, woraus sich dann eine Fahrzeit von ungefähr 8,5 s für einen Meter ergibt. Werden Fahrzeit und Datenübertragungszeit wegen der Datensicherheit zunächst als Abfolge betrachtet, resultiert hieraus eine Messungsdauer bei einer 600 m Messung von ca. 4 Stunden.

Übertägig besteht das System aus dem Registrier- und Steuerrechner, der Sondenstromversorgung und dem Windencontroller. Zusammengefasst werden diese Baugruppen dann als Datenerfassungseinheit bezeichnet. Eine Sonderstellung nimmt hier der Windencontroller ein. Er muss an die jeweilig eingesetzte Winde angepasst werden sollte und unabhängig vom Registrierrechner arbeiten, da hier auch sicherheitsrelevante Steuerfunktionen der Winde ausgeführt werden.

Die Bohrlochsonde wird sich aus den Baugruppen Empfänger Modul (Sensor), Telemetrie Modul, Sender Modul (Sender) und Abstandselementen zusammensetzen:

Das zentrale Element der Bohrlochsonde ist der Sensor, der neben der Antennenstruktur auch die analoge Signalaufbereitung und die Digitalisierung enthalten wird. Gesteuert werden die Sensorfunktionen aus der Zeitbasis, die auch den Triggerzeitpunkt des Senders festlegt. Ein Kalibriergenerator wird ebenfalls Bestandteil des Sensors sein. Dieser Generator wird zum Abgleichen der parallel digitalisierten Kanäle benötigt. Es ist noch nicht geklärt ob das notwendige Orientierungsmodul auch im Sensor untergebracht werden kann. Falls diese Möglichkeit besteht, könnte auf orientierte Steckverbindungen zwischen den Sonderelementen verzichtet werden. Eine Batteriestromversorgung ist zunächst auch vorgesehen, es kann jedoch erst hierüber entschieden werden wenn, die Stromaufnahme der einzelnen Bauelemente bekannt ist. Ein weiterer Bestandteil des Sensors ist die interne Telemetrie, die Daten und Steuersignale zum Telemetrie Modul und zum Sender überträgt.

Die Hauptaufgabe des Telemetrie-Moduls ist die Kommunikation mit der Datenerfassungseinheit (externe Telemetrie). Zu dieser Kommunikation gehört auch die Zwischenspeicherung der Daten sowie deren Aufbereitung und eventuell auch Kompression. Des Weiteren sind im Telemetrie Modul zentrale Überwachungsaufgaben sowie das Orientierungsmodul angesiedelt (sofern es nicht im Sensor untergebracht wird). Die interne Telemetrie ist zunächst als Lichtwellenleiter geplant. Es wird jedoch auch die Möglichkeit untersucht, die Lichtwellenleiter gegen eine wireless LAN (WLAN) Verbindung zu tauschen. Wenn im Sensor eine Batteriestromversorgung eingesetzt werden kann und eine WLAN realisierbar ist, reduzieren sich alle Steckverbinder zu einfachen mechanischen Kupplungen. Die Störanfälligkeit eines solchen Systems wird hierdurch drastisch gesenkt.

Der Sender besteht aus der Antennenstruktur (Dipolantenne) und dem Pulsgenerator, der den Sendepuls erzeugt. Die integrierte Batteriestromversorgung liefert neben einer konstanten 12 VDC Ausgangsspannung auch 3\*300 VDC für die einzelnen Sendestufen. Ein Triggergenerator setzt ein eintreffendes Triggerwort zusammen mit einer Impulsformerstufe in das eigentliche Triggersignal für die Sendestufen um.

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

Weitere Ausarbeitung der Struktur in Abhängigkeit der erworbenen Erkenntnisse, Konstruktion und Aufbau einzelner Module.

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8,<br>99421 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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**

Im Berichtszeitraum wurde mit der Umrüstung bzw. Erweiterung der experimentellen Versuchseinrichtung begonnen. Im Einzelnen betraf das folgende Versuchsgeräte:

- Umrüstung Quelldruckapparatur auf Temperaturregelung und Temperaturkontrolle.
- Konstruktion der Permeabilitätsanlage
- Konstruktion der THMC-Zelle

Die Umrüstung der Quelldruckzelle ist an einem Prototyp erfolgt. Ein erster Versuchskörper wurde eingebaut. Mit ersten Ergebnissen ist Ende August 2005 zu rechnen. Parallel haben die Arbeiten zur Ermittlung des Temperatureinflusses auf die SWCC begonnen. Die Versuchsrandbedingungen sind hierbei die für „Freies Quellen“.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Fortführung der Umrüstung der Versuchsgeräte. Erste Versuche zur Verifizierung der Temperaturkontrolle und Temperaturmessung. Erarbeitung des detaillierten experimentellen Versuchsprogramms.

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 T1 Thermische Prozesse: Thermische Effekte (Thermomechanik) wurden in die Prozessbetrachtung einbezogen. Dabei wurden insbesondere zeitabhängige Wärmeleistungs-Randbedingungen unter teilgesättigten Bedingungen untersucht. Temperaturabhängigkeiten von Stoff- und Prozesseigenschaften (bei hohen Temperaturen) wurden implementiert (Wang et al. 2005),
- WP T4 Chemische Prozesse: Der Einfluss chemischer Effekte auf Porositäts- und Permeabilitätsveränderungen für Bentonit-Materialien wurde untersucht (Xie et al. 2005a),
- WP T5 Numerische Verfahren: Es erfolgte eine Weiterentwicklung numerischer Berechnungsverfahren für streng gekoppelte Mehrfeld-Probleme (kombinierte partitionierte/monolitische Methoden). Dabei wurden insbesondere dynamische Anfangszustände berücksichtigt, wie sie beispielsweise durch Exkavationsvorgänge (Hohlraumbildung) entstehen. Ferner wurde ein neues numerischen Quelldruck entwickelt und verifiziert (Xie et al. 2005b),
- WP T6 Softwareentwicklung: Vorgezogen wurde die Entwicklung einer neuen C++Element-Klasse für gekoppelte Prozesse. Die Algorithmen für die numerischen Verfahren sind nun Gleichungstyp-orientiert (d. h. elliptisch, parabolisch, hyperbolisch) (Wang and Kolditz 2005).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

In der Projektphase geht es insbesondere um folgende Forschungsarbeiten:

- WP T1 Thermische Prozesse: Die in Weimar konzipierten Quelldruckversuche unter verschiedenen Temperaturregimen werden analysiert. Dafür werden thermo-elasto-plastische Materialmodelle entwickelt und implementiert.
- WP T2 Hydraulische Prozesse: Die Bearbeitung von Mehrphasen-Prozesse: Gasfreisetzung und Gasmigration, wird begonnen.
- WP T4 Chemische Prozesse: Untersuchung des Einflusses chemischer Effekte auf das mechanische Materialverhalten (chemische Konsolidierung und Schädigung),
- WP T5 Numerische Verfahren: Optimierung numerischer Berechnungsverfahren für streng gekoppelte Mehrfeld-Probleme (kombinierte partitionierte/monolitische Methoden),

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Xie M, Bauer S, Kolditz O, T Nowak and Shao H (2005a): Non-isothermal multicomponent reactive transport in partially saturated porous media (submitted to J. Contaminant Hydrology, in revision).
- Xie M, Wang W, de Jonge J and Kolditz O (2005b): Numerical Modelling of Swelling Pressure in Unsaturated Expansive Elasto-Plastic Porous Media (submitted to Transport in Porous Media, in revision).
- Wang W, Xie M and Kolditz O (2005): DIV – THM Progress Report. GeoSys – Preprint [2005-15], GeoSystemsResearch, Center for Applied Geosciences, University of Tübingen.
- Wang W and Kolditz O (2005): Object-oriented finite element analysis in porous media mechanics. GeoSys – Preprint [2005-16], GeoSystemsResearch, Center for Applied Geosciences, University of Tübingen.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße<br>6, 09596 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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: Zwischenbericht liegt als Entwurf vor.

AP 2: Untersuchungen zur Hydratationswärme von Salzbeton und Solebeton. Herstellung von Probekörpern für Festigkeitsuntersuchungen. Gewinnung von Bohrkernen für mikroskopische Untersuchungen und zur Festigkeitsbestimmung aus der Ortsbrustverfüllung (Solebeton mit mineralischen Zuschlag) am Versuchsstandort EU1 in der Grube Sondershausen. Vorversuche zu speziellem Faserbeton.

AP 3: Als Bitumen für Dichtaufgaben und als Bindemittel für spezielle Dichtasphalte wird Oxidationsbitumen favorisiert. Polymermodifiziertes Bitumen ist für die vorliegende Zielstellung nicht empfehlenswert. Für die Bemessung der Asphalt-dichte-elemente sind v. a. die Adhäsion sowie zeitunabhängige Parameter, wie z. B. das Vorhandensein einer Fließgrenze von Bedeutung.

AP 4: Herstellung von Probemischungen aus unterschiedlichen Asphaltrezepturen. Optimierung der Verarbeitungstechnologie von Gussasphalt. Versuche zur Ermittlung der Fließ- und Pumpfähigkeit von Gussasphalt mit einer Laborflügelsonde. Ein Technikumsversuch zum Heißeinbau von Bitumen B65 in ein Schotterbett verlief positiv und ergab eine praktisch vollständige Hohlraumausfüllung.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP 1: Diskussion des Zwischenberichtes.

AP 2: Untersuchung der Rissverteilung in den Solebeton-Probekörpern aus der Grube Sondershausen. Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Hydratationswärme und Rissbildung in unterschiedlichen Betonmischungen (mikromechanische Betrachtungen).

AP 3: Fertigstellung des Zwischenberichtes.

AP 4: Untersuchungen zur Einbautechnologie. Optimierung von Asphaltrezepturen hinsichtlich der Verarbeitbarkeit (Einbautemperatur, Fließfähigkeit, Restporengehalt) und der Festigkeit. Aufbau einer halbtechnischen Versuchsapparatur für die Dichtheitsprüfung von Asphalt-elementen bei unterschiedlichen Flüssigkeitsdrücken.

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2a,<br>38670 Clausthal-Zellerfeld  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 die Arbeiten aus dem Arbeitspaket 1 weitergeführt. Es wurde auf dem Forschungsbergwerk Asse ein weiterer Vorversuch durchgeführt. Ziel dieses Versuches war es Erfahrungen mit der ausgewählten alternativen Blasmaaschine zu sammeln und die Eignung der für den Großversuch ausgewählten Maschinenteknik zu überprüfen und die notwendige Feinabstimmung bezüglich der Zusammenstellung der Einzelkomponenten der ausgewählten Maschinenteknik vorzunehmen.

Es wurden von der Knauf Gips KG, Iphofen und dem Kaliverein e.V., Kassel 300 Tonnen Baustoff zur Verfügung gestellt. Dieser wurde aus den einzelnen Komponenten zusammengemischt, in Big Bags abgefüllt und nach unter Tage verbracht. Diese Baustoffmenge soll für weitere Untersuchungen sowie den geplanten Großversuch eingesetzt werden.

Von der Deutschen Steinkohle AG wurde eine alternative Blasmaaschine mit entsprechender Blasleitung zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurde eine Exzentrerschneckenpumpe angeschafft, um dem Baustoff über die Benetzungsdüse die erforderliche Menge an Anmachflüssigkeit zuzuführen.

Die im Bezug zum ersten Vorversuch abgeänderte Maschinenteknik, bestehend aus Druckversorgung, Baustoffversorgung, alternativer Blasmaaschine, Exzentrerschneckenpumpe und Austragstechnik, wurde unter Tage installiert und in einem Streckenstummel ein Dammbauwerk errichtet. Versuchsbegleitend wurden Proben vom Baustoff genommen, um Angaben über die Festigkeit und das Hydratationsverhalten des Calciumsulfat-Steinsalz Baustoffs unter In-situ-Bedingungen zu erhalten.

Als erste Ergebnisse konnte eine grundsätzliche Blasbarkeit des Baustoffes nachgewiesen werden. Im Regelbetrieb konnte eine ausreichende Benetzung des Baustoffes anhand der gewählten Benetzungsdüse sichergestellt werden. Der erforderliche Wasser-Bindemittel-Wert kann bei Kenntnis der aktuellen Baustofffördertrate über ein Dosierventil vor der Benetzungsdüse und die Vorwahlmöglichkeiten der Pumpe eingestellt werden. Durch die hohe Austragsgeschwindigkeit ist die Einbringdichte nach visueller Begutachtung und ersten Festigkeitsuntersuchungen als ausreichend einzustufen. Die Praktikabilität und Zuverlässigkeit der eingesetzten Technologie konnte verbessert werden. Die Staubbelastung während der Versuchsdurchführung wurde optimiert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im nächsten Berichtszeitraum soll neben einigen restlichen Voruntersuchungen zur Einbringbarkeit und Benetzung des Baustoffs mit Anmachflüssigkeit der Schwerpunkt im Arbeitspaket zwei liegen. Es soll die Konzeption des Großversuchs durchgeführt werden. Dazu gehört die Auswahl einer geeigneten Messtechnik sowie deren Peripherie. Es müssen entsprechende Sensoren für Temperatur, Feuchtebestimmung und Druckmessung ausgewählt werden. Diese sollen an einen PC angeschlossen und mit einem Modem versehen werden, um die anfallenden Daten während der Versuchsdurchführung sowohl vor Ort als auch online vom Institut für Bergbau auszulesen.

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), Bautzner Landstraße<br>128, 01314 Dresden   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

- Zusammenführung von SODA und RES<sup>3</sup>T als logisches Modell (weitgehend abgeschlossen)
- Anpassung von RES<sup>3</sup>T entsprechend der neuen Tabellenstruktur

AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces

- Designentwurf für das Nutzerinterface, die Nutzerverwaltung und die Dateneingabe

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Sichtung vorhandener Literatur, Auswertung und Dokumentation und kontinuierliche Recherche neuer Literatur (Zeitschriftenartikel, Dissertationen u. a.)
- Recherche in GeoRef nach Eingrenzung der Stichworte (zusammen mit GRS)
- Sichtung von RES<sup>3</sup>T bezüglich Literatur mit  $K_d$ -Werten
- Überführung der Daten aus der SDGM-Datenbank in Excel und Access

AP4: Experimentelle Schließung von Datenlücken

- Festlegung experimenteller Details für die erste Versuchsserie mit einem Muskovit-Quarz-System (Sandstein) bzw. einem Granitsystem, Erstellung und Abstimmung einer Versuchsmatrix (parallele Auswertung mit  $K_d$  und SCM)
- Material- und Probenbeschaffung, Test der Versuchseinrichtungen
- Vorbereitung der Feststoffe Quarz, Muskovit und Feinsand (grob Zerkleinern, Mahlen, Klassieren) in ausreichender Menge für die Batchversuche

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1:

- Umsetzung des ISDA-Entwurfs in PostgreSQL
- Überführung von Testdaten in die neue Tabellenstruktur

AP2:

- Installation des ISDA-Prototypen auf einem Webserver, Entwurf von Abfragen der Datenbank

AP3:

- Kontinuierliche Erfassung, Auswertung und Dokumentation vorhandener und neuer Literatur

AP4:

- Analytik der Feststoffe (BET, ICP-MS, XRD)
- Durchführung von Batchversuchen: Sorption von Uran und Blei an Quarz, Muskovit und Feinsand; Auswertung der Messungen
- 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>45291 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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)
- Entwicklung von Auswertungsverfahren experimenteller Daten, die eine Konvergenz von SODA- und RES<sup>3</sup>T -Daten ermöglichen

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Sichtung vorhandener Literatur, Auswertung und Dokumentation sowie kontinuierliche Recherche neuer Literatur (Zeitschriftenartikel, Dissertationen u. a.)
- Recherche und Auswertung von kombinierten Batchversuchen und Säulenperkolationen

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Zusammenführung der Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T

- Weiterer Aufbau der ISDA-Datenbankstruktur auf Basis von SODA und RES<sup>3</sup>T unter Berücksichtigung der funktionalen Zusammenhänge der Sorptionsprozesse und nutzerorientierter Datenauswertung

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Kontinuierliche Erfassung, Auswertung, datenbankmäßige Erfassung und Dokumentation vorhandener und neuer Literatur

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH,<br>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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

- Zusammenführung von SODA und RES<sup>3</sup>T als logisches Modell (weitgehend abgeschlossen)
- Erweiterung der Funktionalität. Zur Überprüfung und ggf. Vervollständigung und Anpassung der Datenbankstruktur wurden auch weitere existierende SDB herangezogen

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Weitere Literaturrecherchen in der GRS-Bibliothek sowie mit den Suchmaschinen für wissenschaftliche Literatur Scopus und Scirus
- Recherche in GeoRef nach Eingrenzung der Stichworte (zusammen mit FZR)
- Direkter Kontakt mit PNL, SNL, DoE (UK) sowie JNC mit bereits teilweise erfolgter Datenbereitstellung

AP4: Experimentelle Schließung von Datenlücken

- Festlegung experimenteller Details für die erste Versuchsserie mit einem Muskovit-Quarz-System (Sandstein) bzw. einem Granitsystem, Erstellung und Abstimmung einer Versuchsmatrix, welche eine Nutzung der Resultate im Rahmen beider Konzepte (Kd, SCM) erlaubt
- Material- und Probenbeschaffung, Vorbereitung und Test der Versuchseinrichtungen

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Weiterer Aufbau der ISDA-Datenbankstruktur auf Basis von SODA und RES<sup>3</sup>T und unter Einbeziehung weiterer SDB

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

AP4: Durchführung weiterer Batch- und Säulenversuche. 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

- Zusammenführung von SODA und RES<sup>3</sup>T als logisches Modell (weitgehend abgeschlossen)
- Beginn der Umsetzung des Modells in eine PostgreSQL-Datenbank (als Rohentwurf - noch ohne datenbankseitige Funktionalität - zwecks Tests der Struktur demnächst abgeschlossen); Übermittlung der Datenbank an FZR als Dump-File, wo mit dem Bau eines Frontend begonnen wird

AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces

- Anlehnung des Benutzerkonzeptes von ISDA weitgehend an das der RES<sup>3</sup>T-Datenbank

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Weitere Literaturrecherchen in den Universitätsbibliotheken der TH Aachen, Universität Köln und Universität Bonn
- Schwerpunkte der Literaturerfassung: Diplomarbeiten und Dissertationen (2001 - 2004) im Bereich Geowissenschaften, Chemie und Landwirtschaft (Bodenkunde)

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1:- Fertigstellung des Rohentwurfs. Programmierung der serverseitigen Funktionalität in Abhängigkeit und Abstimmung mit Arbeiten an AP2

- Nach Aufbau der ISDA-Datenbank werden testweise die Daten von SODA und RES<sup>3</sup>T in ISDA eingespielt und die dazu notwendigen Schritte erarbeitet und protokolliert. Mit dem dann vorhandenen Testdatensatz können die Programmierarbeiten an AP2 beginnen

AP2: Aufbau des PHP-gestützten Frontends zunächst als Arbeitsversion für ISDA. Darauf aufbauend werden die für andere Benutzer notwendigen Funktionen programmiert

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

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastraße 27c, 80007 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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:* Mittels Modellrechnungen wurde für die Vorversuche im Bergwerk eine optimale Messkonfiguration ermittelt.
- Arbeitspunkt 2:* Vom 11.04. bis 22.04.2005 erfolgten gemeinsam mit den Projektpartnern der TU Ilmenau in der ca. 300 m langen Maschinenstrecke Auffahrt ED (Bahnhof) der Grube Sondershausen erste Sonar- und Radarmessungen in situ.
- Arbeitspunkt 3:* Die auf einem Projektmeeting am 28.06.2005 an der TU Ilmenau vorgestellten ersten Ergebnisse der Sonar- und Radarmessungen in der Grube Sondershausen bestätigen, dass mit dem kombinierten Einsatz beider Methoden sehr gute Voraussetzungen zur hochauflösenden Erkundung des Auflockerungszustandes der Saumzone gegeben sind. Beide Verfahren konnten kleinräumige Inhomogenitäten in der bergbauinduzierten Auflockerungszone nachweisen.
- Arbeitspunkt 4-6:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Vorversuche im Labor und Bergwerk sollen im Jahr 2005 abgeschlossen werden. Bei weitergehenden Tests soll ein Leistungsverstärker mit höherer Leistung eingesetzt und die Ankopplungstechnologie verbessert werden. Gleichzeitig werden methodenübergreifende Interpretationstechniken zur sicheren Charakterisierung des Auflockerungszustandes in der Saumzone erarbeitet und ein Messort gesucht, an dem eine Validierung der geophysikalischen 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 randnaher Gesteinsschichten 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 bereits große Bandbreite noch weiter verbessert werden soll. Darüber hinaus sind spezielle Antennenanordnungen und Auswertelgorithmen zu entwerfen, mit denen die gesuchten Gesteinsdefekte optimal zu detektieren sind. Durch eine enge Kooperation mit einem Schwesterprojekt (IFZP Dresden) zur Ultraschallsondierung von Gesteinen und durch deren Fusion mit den Radardaten soll die Aussagekraft und Zuverlässigkeit der Messungen erhöht werden. Die angestrebte Messmethode ermöglicht eine hochauflösende Beurteilung von Auflockerungen, für die zur Zeit auch international keine erschöpfenden Lösungen existieren. Daraus resultiert ein hohes Marktpotenzial 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
- Entwicklung, Bau und Test der Sensorelemente
- Entwicklung, Bau und Test der Sensorelektronik
- Messdatenverarbeitung und Parameterextraktion
- Validierung der Messergebnisse
- Langzeitüberwachung bergbauinduzierter Auflockerungen und Verformungen des Gebirges
- Auswertung und Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Entwicklung des Konzeptes für die Bandbreitenerweiterung des Ultra-Breitbandradars
- Testmessungen im Salzbergwerk Sondershausen an der zuvor ausgewählten Stelle mit einem konventionellen Stepped-Frequency Radar (Bandbreite 20GHz)
- Entwicklung und Test eines Datenverarbeitungskonzeptes zur Auswertung der aufgenommenen Daten und Erstellung von Reflektivitätsbildern/Radarbildern des Tunnelprofils
- Evaluierung der Messergebnisse zur Beurteilung des Einflusses von Antennenpolarisationen, Wandabständen, Antennenabständen, weitere Untersuchung des Nutzens hoher Frequenzen
- Verwendung hoher Frequenzen jenseits 10GHz erhöht Detaillevel der Radarbilder signifikant
- In den gemessenen Daten konnten kleine Inhomogenitäten im oberflächennahen Salzgestein nachgewiesen werden, welche mit schmalbandigem, kommerziellem Radar nicht detektiert werden konnten
- Prinzipielle Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Sonaruntersuchungen!
- Untersuchungen an vorhandener Radarelektronik (Vorgängermodelle) zur Feststellung des Dynamikbereichs sowie zur Untersuchungen zu verbessernder Eigenschaften für höhere Genauigkeit
- Konzeption des Radargehäuses und des Basisbandradarmoduls für Frequenzen bis 4.5GHz
- Weitere Tests elektronischer Teilkomponenten des Ultra-Breitband-Radars

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Aufbau des Schutzgehäuses inkl. Steuer- und Prozessionseinheiten
- Aufbau, Test und Anpassung des Basisbandradarmoduls bis 4.5GHz
- Auswahl von geeigneten Komponenten zur Erweiterung der Bandbreite auf bis zu 15GHz und Design eines Erweiterungsmoduls, Experimentierschaltungen und Test
- Charakterisierung der Eigenschaften des Basisbandmoduls anhand von Labormessungen
- Evaluierung von Reflektionen an dünnen Spalten in Labormessungen zur Untersuchung von Effekten der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in gestörten Grenzflächen
- Definition der technischen Parameter des Radarscanners, Abschluss der konzeptionellen und konstruktiven Arbeiten, Aufbau des Scanners und Test im Labor
- Weiterführung und Verfeinerung der Antennencharakterisierung; Ziel ist die Schaffung geeigneter und handhabbarer Korrekturdaten für die Messdatenverarbeitung
- Nachbildung von Störszenarien (Clutter, Mehrfachreflexe) im Labor mit dem Ziel, experimentelle Gegenmaßnahmen/numerische Methoden zur Störunterdrückung in den Messdaten zu erforschen
- Radar-Datenverarbeitung
  - Erstellung eines Detektionskonzeptes und Charakterisierungskonzeptes
  - Vorverarbeitung und Datenaufbereitung, Einbeziehung Antennencharakteristiken
  - Migration für variable Geometrien und mehrschichtige Szenarien
- Durchführung weiterer Experimente unter Tage zur Evaluierung der Radarperformance

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Auswertung der Messungen im Salzbergwerk Sondershausen (interne Präsentation)

|   |   |   |
|---|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 Carnallit.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1 Planung eines Versuchsbauwerkes und seiner einzelnen Funktionskomponenten
- AP2 Auswahl der Einbaustandorte für die einzelnen zu untersuchenden Funktionselemente des komplexen Absperrbauwerkes
- AP3 Entwicklung eines interdisziplinären Messkonzeptes zum Nachweis der geplanten Eigenschaften der Dammbaumaterialien und des Umgebungsgesteins sowie ihres Verhaltens im Zeitverlauf; Funktionssicherung des Bauwerkes
- AP4 Untersuchungen zur Abdichtung der Kontaktzone und des unmittelbar daran anschließenden Gebirgsbereiches in der Einbauzone
- AP5 Labor- und In-situ-Untersuchungen zu den im Konzept (AP1) aufgeführten Verschluss-elementen und Materialien
- AP6 Modellrechnungen für das Komplettbauwerk (Dämmelemente, 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 Untersuchungen zur Auswahl der Materialien für Dichtung, Lastabtrag und Vorbauelemente wurden fortgeführt und einzelne In-situ-Tests realisiert, wobei weiterhin die Verknüpfung der Einzelergebnisse aus dem Vorhaben 02C0942 und die Ableitung von Schlussfolgerungen für die weitere Verfahrensweise im Vordergrund stand.
- AP2 Die Auswahl der Dammstandorte und der Standorte für die großmaßstäblichen Untersuchungen von Teilelementen in situ ist erfolgt. Mit der logistischen Vorbereitung der Versuchsorte wurde begonnen. Dazu sind in den nächsten Monaten umfangreiche bergmännische Arbeiten zu realisieren.
- AP3 Der erste Entwurf eines Messkonzeptes wurde erarbeitet und interdisziplinär erörtert.
- AP6 In Vorbereitung der Modellberechnungen wurden die experimentellen Untersuchungen zur Parameterbestimmung der Baustoffe und vor allem der Grenz- und Kontaktbereiche zwischen Baustoffen und der Gebirgsoberfläche geplant und teilweise realisiert.
- AP7 Die Planung der Dammstruktur und der Funktionselemente wurde fortgesetzt und interdisziplinär erörtert. Wesentliche Fragen der Verarbeitungsmöglichkeiten einzelner Baustoffkomponenten in situ wurden getestet.
- AP8 Die Planung sowie die laborativen Vorversuche für die Untersuchung von zwei verschiedenen Vorbauelementen wurden in Angriff genommen und interdisziplinär erörtert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die weiteren Arbeiten orientieren sich an den konzipierten Arbeitspaketen AP1 bis AP11, wobei zunächst die Charakterisierung und die logistische Vorbereitung der Versuchs- und Einbaustandortes sowie die Vorbereitung der großmaßstäblichen Versuche im Vordergrund steht.

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

Eine zusammenfassende Publikation in der Zeitschrift Kali und Steinsalz (Erscheinungszeitpunkt: Herbst 2005) ist in Ausarbeitung;  
Der Fachbericht zum Teil 1 des Vorhabens befindet sich im Druck;  
5 Vorträge zum Fachgespräch am 13./14.10.2005 werden vorbereitet

|   |   |   |
|---|---|---|
| <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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

## 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 Arbeiten konzentrierten sich zunächst auf die Entwicklung einer neuen Rezeptur, die den erhöhten Anforderungen im Hinblick auf die Steifigkeit entspricht. Vom Verbundpartner IfG wurden entsprechend AP 5 erste Vorgaben für lastabtragende Systeme formuliert (Ersatzkompaktionsmodule), die für eine Baustoffentwicklung nicht direkt anwendungsfähig sind. Zur Bestimmung des Entwicklungsstandes wurden daher Kurzzeittests mit modellhafter Berechnung des Kompaktionsstatus vereinbart. Die erste, noch nicht voll ausgereifte Rezeptur wurde der Bauhausuniversität am 27.06.2005 zum Austesten übergeben. Die einaxialen Druckfestigkeiten des neuen Baustoffsystems liegen im Bereich  $>50$  MPa. Bei dieser Entwicklung wurden die Bindemittel- und  $MgCl_2$ -Gehalte der Anmischflüssigkeit variiert, die Zuschlagstoffe ausgetauscht. Die Rezeptur wird dargestellt aus MgO, Quarzsand, Anhydritmehl und  $MgCl_2$ -Lösung.

Die ersten Ergebnisse der Strukturuntersuchungen an verschiedenen MgO-Typen liegen vor. Nach Erstausswertung konnten noch keine signifikanten Unterschiede herausgearbeitet werden, die die unterschiedlichen Eigenschaften der MgO-Typen erklären.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Optimierung der Rezeptur, Einsatz von Verflüssigern zur Verbesserung der Rheologie und Suspensionsstabilität, Anarbeitung des AP 2.

Erste Systemtests in Hinblick auf das Kompaktionsverhalten beim IfG. Weitere vertiefende Strukturuntersuchungen zur Aufklärung der MgO-Eigenschaften.

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Str. 8,<br>99421 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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**

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

- Aufsättigungs- und Trocknungsverhalten
- Abbindeverhalten (Temperaturentwicklung, volumetrisches Verhalten)
- Kompressibilität unter Berücksichtigung der Beanspruchung mit Lauge (Einfluss der Belastungsrichtung)
- Zuarbeit zu den Technikumsversuchen

Die Arbeiten im ersten Berichtshalbjahr beschäftigten sich mit dem Abbindeverhalten der von K-UTEC zur Verfügung gestellten „Prototyp“-Mischung. Dazu wurden Säulenversuche konzipiert, die eine zeitliche Beschreibung der Temperatur-, Feuchteentwicklung und des Quelldrucks erlauben. Im Vergleich zu den vorliegenden Feldmessungen konnte ein signifikanter Einfluss des Maßstabs der Versuchssäulen auf den Verlauf der Reaktionstemperatur beobachtet werden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Der Skaleneffekt der Säulenversuche soll durch die Berücksichtigung unterschiedlicher Umgebungsbedingungen quantifiziert werden. Dazu sind Versuche in einer Klimakammer unter Variation der Temperatur und relativen Feuchte geplant. Die notwendigen Prüfkörper für diese Vergleichsuntersuchungen werden z. Zt. erstellt.

### **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 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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-U TEC)

AP2: Untersuchungen zur Beeinflussung des Quellverhaltens (K-U TEC)

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-  
U TEC)

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

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

Die Arbeiten konzentrierten sich zunächst auf die Entwicklung einer neuen Rezeptur, die den erhöhten Anforderungen im Hinblick auf die Steifigkeit entspricht. Die Rezeptur wird dargestellt aus MgO, Quarzsand, Anhydritmehl und MgCl<sub>2</sub>-Lösung.

Das Teilvorhaben hat sich am Projekt mit der Ableitung der geomechanischen Entwicklungszielstellung für ein Dichtelement im Salinar beteiligt. Dazu wurde nach der grundsätzlichen Abstimmung der Rahmenbedingungen, d. h. der Standortbedingungen, dem Belastungsverlauf und der Konstruktion des zugrunde zu legenden Absperrbauwerkes, an rotationssymmetrischen Funktionsmodellen mechanische und gekoppelte mechanisch-hydraulische numerische Berechnungen durchgeführt. Dabei wurden die wesentlichen Verformungs- und Festigkeitsparameter des zu entwickelnden Baustoffs sowie die des Wirtsgesteins variiert und aus den Berechnungsergebnissen 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.

Die bisher erreichten Ergebnisse wurden auf dem 3. Projekttreffen am 26.05.05 in Leipzig vorgestellt und mit den anderen Projektpartnern diskutiert, sowie die weiteren Arbeiten festgelegt.

Zur Bestimmung des Entwicklungsstandes der Baustoffentwicklung wurden daher zusätzlich Kurzzeittests mit modellhafter Berechnung des Kompaktionsstatus durch das IfG vereinbart.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im Teilvorhaben wird die Ableitung der geomechanischen Entwicklungszielstellung für die Baustoffentwicklung für ein Dichtelement im Salinar abgeschlossen und in Berichtsform dokumentiert.

Weiterhin sind entsprechend der Fortschritte bei der Baustoffentwicklung erste orientierende Untersuchungen an modifizierten Baustoffrezepturen zur Bestimmung des Entwicklungsstandes geplant.

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH,<br>Schwertnergasse 1, 50455 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>01.04.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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**

Im Berichtszeitraum wurde in Zusammenarbeit mit dem Hersteller ein Kapillar-UV-Spektrometer konzipiert und bestellt. Die Lieferung ist noch nicht erfolgt, so dass mit Messungen noch nicht begonnen werden konnte.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Inbetriebnahme des Kapillar-UV-Spektrometers. Entwicklung eines Verfahrens zur Messung von Fe(II)- und Fe(III)-Konzentrationen im Subnanomolar-Bereich.

Systematische Messung der Abhängigkeit des Elektrodensignals von Einstab-pH-Elektroden in Abhängigkeit von der Hintergrundsalkonzentration.

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH,<br>Schwertnergasse 1, 50455 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

- Kontaktaufnahme zu Abfallerzeugern
- Probenbeschaffung
- Vorbereitung, Prüfung und Inbetriebnahme der Versuchseinrichtungen
- Erstellung einer Versuchsmatrix für das Übersichts-Screening und Probenauswahl

AP2: Detailuntersuchungen ausgewählter Systeme mit Analyse von Reaktionsmechanismen

- Spezifizierung von Anforderungen an die Laser-Ablations-Apparatur, Einholung von Angeboten.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP1: - Durchführung des Übersichts-Screening gemäß Vorhabensplanung

- Auswahl geeigneter Systeme für Detailuntersuchungen mit Analyse von Reaktionsmechanismen

AP2: - Beschaffung, Test und Inbetriebnahme der Laser-Ablations-Apparatur

### **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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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: Literaturstudium und Analyse zu den in der Schädigungsmechanik entwickelten Ansätzen im Rahmen eines polaren und nichtpolaren Kontinuums. Abstimmung der Entwicklungsarbeiten mit der Universität Gdansk und ITASCA.
- AP 2: Abschluss des Forschungs- und Entwicklungsvertrages mit der GTS GmbH & Co. KG zur Durchführung der In-situ-Untersuchungen in der neu aufgefahrenen Wetterstrecke über dem Bruchfeld.  
Technische Vorbereitung für die geplanten In-situ-Untersuchungen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP 1: Entscheidung für eine umsetzbare Lösung zur Modellierung der Lokalisierung von Scherzonen auf der Basis des im Vorhaben 02C0264 entwickelten visko-elasto-plastischen Stoffmodells für Salinargesteine.
- AP 2: Befahrung der ab Juni 2005 durchschlägigen Wetterverbindung zwischen dem Grubenfeld Angersdorf und Teutschenthal sowie Festlegung der Bohransatzpunkte für die In-situ-Untersuchungen und Probengewinnung.

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a,<br>38670 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>01.05.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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

Nach der Bewilligung des Verbundvorhabens wurde zunächst eine Kooperationsvereinbarung zwischen den folgenden drei Projektpartnern geschlossen: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS), Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), Universität Tübingen, Zentrum für Angewandte Geowissenschaften (ZAG) und Technische Universität Clausthal (TUC).

Auf dem Start-Workshop am 14.06.2005 in der GRS Braunschweig wurden nach der Besprechung organisatorischer Fragen die einzelnen Programme sowie die aktuellen Entwicklungsstände aller beteiligten Institutionen vorgestellt und diskutiert sowie die Verbindungen einzelner Teilvorhaben festgelegt. Desgleichen wurden die Laborversuche und die zu messenden Größen zur Schaffung einer nötigen Datenbasis für Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse festgelegt.

Das vorliegende Teilvorhaben TUC verwendet das hydromechanische FEM-Programm *MISES III* (TDV Graz, Österreich). Einbindung des kommerziellen geochemischen Programms *CHEMAPP* in das Programm *MISES III* soll über das von der GRS Braunschweig entwickelten Programm *EQLINK* erfolgen.

Die für das Teilprojekt TUC vorgesehene Stelle (BAT IIa) ist im Juni öffentlich ausgeschrieben, jedoch noch nicht besitzt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2005 werden Kurzzeitversuche an ausgehärteten SVV Vollprüfkörpern (AP1), Kompressionsversuche unter isostatischen Dauerbelastungen und bei unterschiedlichen Temperaturen (AP2),

sowie Kriechversuche bei einem konstanten Manteldruck von  $\sigma_3 = 5$  MPa und bei unterschiedlichen Temperaturen (AP3)

durchgeführt, wobei nur Kurzzeitversuche bis End 2005 komplett fertig sein werden.

Außerdem wird ein erster Anlauf mit der Einbindung des geochemischen Programms *CHEMAPP* in das Programm *MISES III* angetastet.

### 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.

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).

Hou, Z. (2004): 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>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH,<br>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>01.05.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 1.1: Es wurden Vorversuche durchgeführt, in denen ausreagierter SVV aus Stahlrohren ausgepresst wurde.
- AP 2.1: Versuche zur Untersuchung des Einflusses der Ionenstärke auf den Quelldruck wurden begonnen. Dazu wurde die  $2\mu$ -Fraktion von MX-80, die hauptsächlich Montmorillonit enthält, gewonnen und mit Na belegt. Die Äquilibrierung erfolgt mit 1.0 ... 0.001 M NaCl-Lösung
- AP 3.1: Es wurden programmatische Details der Kopplung von EQLINK mit MISES III (mit Herrn Dr. Hou) und ROCKFLOW (mit Herrn Dr. Xie) besprochen.

Allgemein: Es wurde eine erste Projektbesprechung durchgeführt. Dabei wurde beschlossen, alle Versuche und Modellrechnungen in enger Abstimmung mit dem zeitgleich laufenden FuE-Projekt SVV-2 (Förderkennzeichen 02 C 1335) durchzuführen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP 1.1: Es wird eine (preiswerte) Form aus Stahl angefertigt, die dieselben Innenabmessungen aufweist, wie die SVV-Proben, die TUC braucht. Wenn es gelingt, ausreagiertes SVV aus diesen Formen herauszudrücken, dann werden die eigentlichen Versuchszellen in Auftrag gegeben. Abweichend von den Planungen im Angebot, streben wir eine Konstruktion ähnlich jener der Quelldruckmesszellen in der GRS an. Dies hat den Vorteil, dass wir den entstehenden Druck bereits in der Zelle messen können (ohne Dehnungsmessstreifen an der Außenseite). Falls es nicht gelingt, die Probe aus der Form auszudrücken, wird weiter so verfahren, wie im Angebot beschrieben. Danach wird begonnen werden, Probekörper für TUC zu produzieren (AP 1.3)
- AP 2.1: Diese Versuche dauern recht lange. Sie werden voraussichtlich das folgende halbe Jahr in Anspruch nehmen.
- AP 3.1: Die Schnittstelle EQLINK wird, soweit erforderlich, an die Erfordernisse der Programme MISES III und ROCKFLOW angepasst. Diese Arbeiten geschehen in enger Abstimmung unter den Partnern dieses Verbundprojektes.

### 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 UniTüb: 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>01.05.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 Programmschnittstellen 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.

### AP1: 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 Reaktionsimulator wie der geochemische Simulator ChemApp oder EQ3/6 an die Mehrkomponenten-Module von GeoSys/RockFlow direkt angebunden werden. Mit dem Einsatz von ChemApp für typische Salinar-Situationen liegen bei der GRS bereits Erfahrungen vor, so dass von diesem Know-How bei der programmtechnischen Realisierung direkt profitiert werden kann.

**AP3: Modellanwendungen**

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

**3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

In der Anfangsphase des Vorhabens wurden intensive Gespräche mit den Kooperationspartnern und Recherchen über potentielle geochemische Modelle durchgeführt:

- Projekttreffen bei der GRS zur gemeinsamen Verfeinerung der geplanten Arbeitspakete für die erste Phase, insbesondere Experimentdesign,
- EQLink-Strukture, Entwicklungsstand und Anforderungen zur Einbindung mit GeoSys/RockFlow. EQLink wird in FORTRAN entwickelt, GeoSys/RockFlow hingegen in C/C++. Die Klärung der software-technischen Dinge ist wichtig für die Anschaffung des thermodynamischen chemischen Simulators ChemApp,
- Kontakt mit GTT-Technologie Co. bezüglich ChemApp,
- Besuch beim Paul-Scherrer-Institut (Schweiz) zur Evaluierung eines weiteren thermodynamischen chemischen Simulators, GEMS, und der entsprechenden Datenbank,
- Literature-Recherchen.

**4. Geplante Weiterarbeiten**

In der nächsten Projektphase geht es insbesondere um folgende Forschungsarbeiten:

- Entscheidung, welcher thermodynamisch-chemischer Modul in GS/RF integriert werden soll sowie Beschaffung.
- Implementierung der Schnittstelle zwischen GS/RF und dem thermodynamisch-chemischen Simulator (Analog zur existierenden PhreeqC-Schnittstelle) [Kooperation mit GRS].
- Untersuchungen zur Materialtheorie: Änderung von Porositäten und Permeabilitäten infolge Lösungs-Fällungsreaktionen bei der Migration von Salzlösung in Tonen (Chemo-Hydraulik).

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Leipzig, Ritterstr. 26, 04009 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>01.06.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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**

Die Bergwerksstandorte Teutschenthal-Angersdorf, Sollstedt sowie Borth wurden bezüglich ihrer Eignung als weitere Referenzstandorte untersucht.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Durchführung weiterer seismischer Messungen am bisherigen Referenzstandort Sigmundshall zur Vervollständigung des geophysikalischen Referenzdatensatzes
- Durchführung geoelektrischer und seismischer Messungen an einem weiteren Referenzstandort
- Entnahme von Gesteinsproben am neuen Referenzstandort 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, 30631 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>01.06.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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**

Die Bergwerksstandorte Teutschenthal-Angersdorf, Sollstedt sowie Borth wurden bezüglich ihrer Eignung als weitere Referenzstandorte untersucht. Die Auswahl der Wissenschaftler für das Projekt wurde eingeleitet. Die Großgeräte für die Georadar-Messungen wurden bestellt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Durchführung elektromagnetischer und Georadar-Messungen an den Referenzstandorten
- Entnahme von Gesteinsproben an neuen Referenzstandort 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, 80007 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>01.06.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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:* Die Bergwerksstandorte Teutschenthal-Angersdorf, Sollstedt sowie Borth wurden bezüglich ihrer Eignung als weitere Referenzstandorte untersucht.
- Arbeitspunkt 2:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.
- Arbeitspunkt 3:* Es wurde mit der Hardwarekonfektionierung und Softwareentwicklung für ein bergbautaugliches 16-kanaliges Ultraschall-Messsystem begonnen.
- Arbeitspunkt 4-7:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im Herbst 2005 sollen weitere Sonaruntersuchungen und seismische Messungen am bisherigen Referenzstandort Sigmundshall zur Vervollständigung des geophysikalischen Referenzdatensatzes erfolgen.

Es wird mit der Entwicklung hochempfindlicher niederfrequente Ultraschallaufnehmer begonnen und die Entwicklung eines bergbautauglichen 16-kanaligen Sonar-Messsystems fortgesetzt.

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

keine

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH,<br>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>01.06.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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**

Die vorgesehenen Beschaffungen für Versuche im Technikumsmaßstab wurden vorbereitet und in die Wege geleitet. Dazu gehörte die detaillierte technische Planung der Druckrohre. Es wurden Druckrohre mit einer Länge von 2 m und einem Durchmesser von 40 cm in Auftrag gegeben. Die Rohre werden bis 40 bar dicht sein und vom TÜV abgenommen. Registriert werden kann der Kristallisationsdruck an den beiden Enden und in der Mitte eines Rohres, sowie die Temperatur jeweils an den Enden des Rohres.

Es wurden Versuche mit IP21 und Tachyditgesättigter Lösung mit  $\text{MgSO}_4$ -wasserfrei durchgeführt und die resultierenden Kristallisationsdrucke und Permeabilitäten am Ende der Reaktion gemessen. Es wurde ein großer Einfluss der Umgebungstemperatur auf die resultierenden Kristallisationsdruck festgestellt. Dies wird bei der weiteren Durchführung von Labor- und Technikumsversuchen in den kleinen Zellen und in den Rohren berücksichtigt. Es wird angestrebt im Labor die Versuchsrandbedingungen so gut wie möglich an die In-situ-Versuche in der Asse anzupassen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Auswertung der bisherigen Versuche und Fortführung von Labor- und Technikumsversuchen.

### **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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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 15.04. und am 08.06. fanden in Berlin bei der DGAP Projektgruppensitzungen statt.

Es wurden folgende Themen behandelt:

- Verlauf und Ergebnisse der Überprüfungskonferenz des Atomwaffensperrvertrages
- Rolle der EU in der Nichtverbreitungspolitik
- Proliferation Security Initiative
- Maßnahmen des UN-Sicherheitsrates gegen die Verbreitung von Massenvernichtungswaffen

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Bis zum Projektende wird eine Buchveröffentlichung im Springer-Verlag mit dem Arbeitstitel „Verifying Treaty Compliance“ erarbeitet.

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

A. Rezniczek, H.H. Remagen, B. Richter, G. Stein, „Designing a State-Level Approach – Considerations on Criteria and Procedures“, Proc. 27<sup>th</sup> ESARDA Annual Meeting, London, 10.-12. Mai 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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |   |
| <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: Entwicklung eines statistischen Merkmalsanalyse-Programms zur Bewertung von Objektmerkmalen. Erstellung eines auf den Analyseergebnissen basierenden objektorientierten Referenzklassifikationsmodells. Anwendung des Modells auf QUICKBIRD-Szenen des NFRPC Esfahan/Iran, der Jahre 2002 und 2003 vor dem Hintergrund der Automatisierung, Standardisierung und Übertragbarkeit. Kombination

der objektorientierten Klassifikation mit der „Multivariate Alteration Detection“ am Beispiel des NFRPC Esfahan für die Jahre 2002 und 2003.

- Geologische Endlagerung: Verteilung des Ergebnisberichts über das Expertentreffen vom Juni 2004 an die Teilnehmer, IAEQ und Euratom; Veröffentlichung der Ergebnisse auf der ESARDA-Konferenz (Vortrag und Artikel im Tagungsband).
- ESARDA: Vorbereitung und Durchführung von Sitzungen der Arbeitsgruppen ‚Containment and Surveillance‘, ‚Integrated Safeguards‘ und ‚Verification Technologies and Methodologies‘ mit Vorträgen; Erstellung der Ergebnisberichte; Teilnahme an den Sitzungen von Steering Committee und Scientific Council and Coordination Board.
- Zusatzprotokoll (ZP): Fortsetzung der Unterstützung der Betreiber von Nuklearanlagen und FuE-Einrichtungen bei der Aktualisierung von Expanded Declaration und Site Definition zur termingerechten Übergabe an Euratom; Unterstützung bei der Klärung von Rückfragen der IAEQ.
- Unattended Remote Monitoring and Measurement Systems: Begleitung der kryptografischen Schwachstellenanalyse des Electronic Optical Sealing System (EOSS); weitere Vorbereitungen zur Revision der Bestrahlungstestprozeduren für elektronische Systeme; weitere Vorarbeiten zur Implementierung von Authentifizierung und Verschlüsselung im Digital Unattended Multi-channel Analyzer; Beginn der Entwicklung eines Next Generation Surveillance System; Mitarbeit bei der Auswahl eines neuen Server-Konzepts für das Vielkammersystem DMOS.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fernerkundung: Entwicklung eines hochauflösenden Geländemodells in Zusammenarbeit mit der DLR in Oberpfaffenhofen auf der Grundlage eines Quickbird-Stereopaars. Übertragung der objektorientierten Klassifikations- und Änderungsmethodik auf die Zeiträume 2004 und 2005 für das NFRPC Esfahan sowie auf andere Satellitensensoren und nukleare Anlagen. Erstellung eines Klassifikationsmodells auf der Grundlage von ASTER-Daten zum Auffinden industrieller Anlagen in weiträumigen Aster-Satellitenszenen.
- Geologische Endlagerung: Vorbereitung des nächsten 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 Schwerpunktthemas „How to determine the performance and assurance of Containment and Surveillance Equipment“.
- Zusatzprotokoll: Unterstützung der Betreiber bei ihren Deklarationspflichten.
- Managed Access: Entwurf und Diskussion von Guidelines; Beratung des BMWA.
- Unattended Systems: Tests und Implementierung von EOSS, Vorbereitung der Tests von DIUM, Authentifizierung und Verschlüsselung bei DIUM.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

B. Richter, H.H. Remagen, H. Kranz; „Safeguards in Geological Repositories for Spent Fuel - Site Definition and Design Information Verification“, Proc. 27th ESARDA Annual Meeting, London, 10.-12. Mai 2005.

A. Reznicek, H.H. Remagen, B. Richter, G. Stein; „Designing a State-level Approach - Considerations on Criteria and Procedures“, Proc. 27th ESARDA Annual Meeting, London, 10.-12. Mai 2005.

A. Reznicek, B. Richter, G. Stein, M. Weis; „Evolving Safeguards Impose New Demands on Operators“, Proc. 27th ESARDA Annual Meeting, London, 10.-12. Mai 2005.

M. J. Canty and A. A. Nielsen, „Unsupervised classification of changes in multispectral satellite imagery, Image and Signal Processing for Remote Sensing X“, ed. L. Bruzzone, Proc. of SPIE Vol. 5573, SPIE, Bellingham, WA, 2004, pp 356-363.

A.A. Nielsen and M.J. Canty, „Multi- and hyperspectral remote sensing change detection with generalized difference images by the IR-MAD method“, MultiTemp2005, Proceedings, Biloxi, USA, 16.-18. Mai 2005.

M.J. Canty, A.A. Nielsen and J. Schlittenhardt, „Sensitive change detection for remote monitoring of nuclear treaties“, Proceedings, 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment, Global Monitoring for Sustainability and Security, St. Petersburg, Russland, 20.-24. Juni 2005.

I. Niemeyer and S. Nussbaum, „Automation of change detection procedures for nuclear safeguards-related monitoring purposes“, Proceedings 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment, Global Monitoring for Sustainability and Security, St. Petersburg, Russland, 20.-24. Juni 2005.



## **2.4 BMWA-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>01.01.2005 bis 30.06.2005 |  |
| <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, 02E9713, 02E9773, 02E9834, 02E9894, 02E9914, 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 10 Vorhaben in die internationalen Programme zur Untersuchung alternativer Wirtsgesteine eingebunden. Die Laufzeit von zwei Vorhaben endete im Berichtszeitraum (02E9198, 02E9602).

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 <span style="float: right;">📖 120</span>   |
| <b>Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99421 Weimar</b>                |  |
| 02 C 1104   | Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme <span style="float: right;">📖 140</span>  |
| 02 C 1224   | Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar - Experimentelle Untersuchungen zur Struktur, dem Abbindeverhalten, der Kompressibilität und den volumetrischen Eigenschaften <span style="float: right;">📖 164</span> |
| <b>Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42097 Wuppertal</b>                      |  |
| 02 C 1084   | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems <span style="float: right;">📖 136</span>  |
| <b>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30631 Hannover</b> |  |
| 02 C 1014   | Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 2 <span style="float: right;">📖 122</span>   |
| 02 C 1074   | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten <span style="float: right;">📖 134</span>  |
| <b>BUTEC Umwelttechnik GmbH, Düsseldorfer Straße 32-34, 65760 Eschborn</b>                  |  |
| 02 E 9864   | Selbstheilungseffekte in Tongestein bei hohen Temperaturen - Teilvorhaben WP 4.4 des Integrated Project NF-PRO des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission <span style="float: right;">📖 72</span>  |
| <b>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine</b>                                    |  |
| 02 E 9521   | Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT) <span style="float: right;">📖 18</span>   |
| 02 E 9531   | Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen <span style="float: right;">📖 20</span>  |
| 02 E 9612   | Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein <span style="float: right;">📖 26</span>   |
| 02 E 9733   | Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein <span style="float: right;">📖 46</span>  |

- 02 E 9743 Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö  48
- 02 E 9854 Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1)  70
- 02 E 9965 Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA  92
- Deutsche Montan Technologie GmbH, Am Technologiepark 1, 45291 Essen**
- 02 C 1094 Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung und Bua der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassung  138
- 02 C 1154 Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)  150
- 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  142
- 02 C 1295 Kopplung Numerischer Modelle für C:HM - Transportprozesse, Teilprojekt UniTüb: Validierung Numerischer Modelle für geochemische Prozesse in geotechnischen Dichteelementen  178
- 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)  154
- Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich**
- 02 E 9803 Untersuchungen zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager  60
- 02 W 6232 Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen  190
- 02 W 6243 Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen  192
- 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  130
- KWA 2003 Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine  196

|   |
|---|
| <b>Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), Bautzner Landstraße 128 (B6), 01314 Dresden</b> |
|---|

- 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  36
- 02 C 1144 Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-FZR)  148

|   |
|---|
| <b>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastraße 27c, 80007 München</b> |
|---|

- 02 C 1184 Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar  156
- 02 C 1325 Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertesystem zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Sonarverfahren  184

|   |
|---|
| <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Schwertnergasse 1, 50667 Köln</b> |
|---|

- 02 C 0912 Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien  104
- 02 C 0963 Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analyseergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands  112
- 02 C 0973 Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen  114
- 02 C 0983 Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen  116
- 02 C 0993 Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C und 90° C  118
- 02 C 1164 Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)  152
- 02 C 1244 Prognose der Redoxeeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen  168
- 02 C 1254 Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD  170
- 02 C 1285 Kopplung Numerischer Modelle für C:HM - Transportprozesse, Teilprojekt GRS  176
- 02 E 9198 Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel (Phase V)  12
- 02 E 9239 Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern  14

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <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 | 16 |
| <b>02 E 9551</b> | Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen  | 22 |
| <b>02 E 9602</b> | Untersuchungen zur Gaserzeugung und –freisetzung sowie dem Wassergehalt und der Wasserumverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels  | 24 |
| <b>02 E 9622</b> | Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein  | 28 |
| <b>02 E 9723</b> | Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen   | 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  | 54 |
| <b>02 E 9783</b> | Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  | 56 |
| <b>02 E 9813</b> | Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen   | 62 |
| <b>02 E 9824</b> | Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)  | 64 |
| <b>02 E 9834</b> | Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT  | 66 |
| <b>02 E 9844</b> | NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment   | 68 |
| <b>02 E 9884</b> | Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen   | 76 |
| <b>02 E 9894</b> | Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt   | 78 |
| <b>02 E 9914</b> | Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ  | 82 |
| <b>02 E 9934</b> | Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)  | 86 |
| <b>02 E 9944</b> | Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2   | 88 |
| <b>02 E 9954</b> | Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager   | 90 |
| <b>02 E 9975</b> | Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA   | 94 |
| <b>02 E 9995</b> | Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5  | 99 |

**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  160

**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  124
- 02 C 1234 Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar - Untersuchungen der mechanischen Anforderungen und Eigenschaften  166
- 02 C 1264 Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salinarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss  172
- 02 E 9874 Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation  74
- 02 E 9904 Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein  80

**Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30631 Hannover**

- 02 C 1315 Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen  182

**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)  108
- 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  34
- 02 E 9753 Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracerverfahren  50

**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  32

**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  162

**Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99404 Weimar**

- 02 C 1064 Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken  132

**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  58

**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  42

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

- 02 C 1124 Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke  144

**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  100

- 02 C 0841 Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten  102

- 02 C 0952 Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge  110

- 02 C 1034 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4  126

- 02 C 1134 Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern  146

- 02 C 1275 Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse, Teilprojekt TUC: Gekoppelte Modellierung des C:HM Verhaltens von selbstverheilendem Salzversatz  174

- 02 E 9632 Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein  30

**Technische Universität Ilmenau, Max-Planck-Ring 14, 98684 Ilmenau**

- 02 C 1194 Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthäufigkeits-Radar  158

|  |
|--|
| <b>Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München</b> |
|--|

02 E 9693 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe  40

02 E 9763 Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  52

|  |
|--|
| <b>Universität Leipzig, Ritterstraße 26, 04009 Leipzig</b> |
|--|

02 C 1305 Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertesystem zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung  180

|  |
|--|
| <b>Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66123 Saarbrücken</b> |
|--|

02 E 9683 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit  38

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

02 C 1044 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5  128

|  |
|--|
| <b>Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe</b> |
|--|

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  106

|   |
|---|
| <b>Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14415 Potsdam</b> |
|---|

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“)  84