

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

## **PTE Nr. 28**

Bericht über die im zweiten Halbjahr 2004  
vom BMBF und BMWA geförderten FuE-Arbeiten zur  
„Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formatio-  
nen“

Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe  
Bereich Wassertechnologie und Entsorgung  
(WTE)

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH**  
Februar 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“ 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 des BMBF und BMWA 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>3</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	109
2.3	W-VORHABEN	183
2.4	BMWA-HAUSVORHABEN	189
<b>3</b>	<b>Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen</b>	<b>193</b>



# 1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen

## 1.1 Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten

<b>02 C 0830</b>	Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 116
<b>02 C 0881</b>	Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement	<b>Bauhaus-Universität Weimar</b>	📖 120
<b>02 C 0942</b>	Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV	<b>GTS Grube Teutschenthal</b>	📖 130
<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>	📖 134
<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>	📖 136
<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>	📖 138
<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>	📖 140
<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>	📖 154
<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>	📖 156

<b>02 C 1084</b>	Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems	<b>Bergische Universität Wuppertal</b>	📖 158
<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>	📖 160
<b>02 C 1104</b>	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme	<b>Bauhaus-Universität Weimar</b>	📖 162
<b>02 C 1124</b>	Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke	<b>TU Bergakademie Freiberg</b>	📖 164
<b>02 C 1134</b>	Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 166
<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>	📖 176
<b>02 C 1194</b>	Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthfrequenz-Radar	<b>TU Ilmenau</b>	📖 178
<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>	📖 180
<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>	📖 86
<b>KWA 2003</b>	Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 190

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

<b>02 C 0689</b>	Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 110
<b>02 C 0710</b>	Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 112
<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>	📖 114
<b>02 C 0841</b>	Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 118
<b>02 C 0892</b>	Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen	<b>IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>	📖 122
<b>02 C 0912</b>	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 124
<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>	📖 126
<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>	📖 128
<b>02 C 0952</b>	Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 132
<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>	📖 142

<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>	📖 144
<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>	📖 146
<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>	📖 148
<b>02 C 1044</b>	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5	<b>Universität Hannover</b>	📖 150
<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>	📖 152
<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>	📖 168
<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>	📖 170
<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>	📖 172
<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>EnviVon Dr. Veerhoff &amp; Scherschel GdR, Alfter</b>	📖 174
<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 9249</b>	Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt des Nachweises der Betriebssicherheit in einem Endlager	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 16
<b>02 E 9279</b>	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 18

<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>	📖 20
<b>02 E 9491</b>	Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters	<b>FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden</b>	📖 22
<b>02 E 9511</b>	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 24
<b>02 E 9521</b>	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 26
<b>02 E 9531</b>	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 28
<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>	📖 30
<b>02 E 9561</b>	Modellentwicklung zur Quellung hochkompakter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 - 120°	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 32
<b>02 E 9571</b>	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 34
<b>02 E 9592</b>	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 36
<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>	📖 38
<b>02 E 9612</b>	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 40
<b>02 E 9622</b>	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 42
<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>	📖 44
<b>02 E 9653</b>	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kalinit	<b>Johannes Gutenberg-Universität Mainz</b>	📖 46

<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>	📖 48
<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>	📖 50
<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>	📖 52
<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>	📖 54
<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>	📖 56
<b>02 E 9713</b>	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor, Vorprojekt	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 58
<b>02 E 9723</b>	Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 60
<b>02 E 9733</b>	Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 62
<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>	📖 64
<b>02 E 9753</b>	Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracern	<b>IIF e.V., Leipzig</b>	📖 66
<b>02 E 9763</b>	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden	<b>TU München</b>	📖 68
<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>	📖 70

02 E 9783	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 72
02 E 9793	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	Öko-Institut e.V., Freiburg	📖 74
02 E 9803	Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager	FZ-Jülich	📖 76
02 E 9813	Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 78
02 E 9824	Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 80
02 E 9834	Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 82
02 E 9844	NF-PRO5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 84
02 E 9864	Selbstheilungseffekte in Tongestein bei hohen Temperaturen – Teilvorhaben WP 4.4 des Integrated Project NF-PRO des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission	BUTECH Umwelttechnik GmbH, Eschborn	📖 88
02 E 9874	Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 90
02 E 9884	Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 92
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	📖 94
02 E 9904	Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 96
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	📖 98

- |                  |  |  |       |
|------------------|--|--|-------|
| <b>02 E 9924</b> | 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“) | <b>Universität Potsdam</b>   | 📖 100 |
| <b>02 E 9934</b> | Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 102 |
| <b>02 E 9944</b> | Goelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2   | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 104 |
| <b>02 E 9954</b> | Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager  | <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b> | 📖 106 |

### 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> | 📖 184 |
| <b>02 W 6243</b> | Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen                   | <b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b> | 📖 186 |



## **2 Formalisierte Zwischenberichte**

### **2.1 E-Vorhaben**

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9198</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel (Phase V)			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.1998 bis 30.06.2005		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 854.131,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> 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 Auswertung der ins Silo injizierten Tracergase hat ergeben, dass die Gasmigration im Beton und wassergesättigten Bentonit-Sand Gemisch unerwartet schnell ablief. Es zeigte sich weder eine Abhängigkeit der Migration von der Löslichkeit der verschiedenen Gaskomponenten im Wasser noch vom Molekulargewicht. Diese Tatsache deutet an, dass das gesamte Silosystem wider Erwarten nicht vollständig wassergesättigt war. Eine weiterführende modelltheoretische Analyse dieser Ergebnisse in Verbindung mit weiteren Laboruntersuchungen wäre für die Interpretation sinnvoll, ist aber im Rahmen des laufenden Projektes nicht vorgesehen.

Nach Abschluss der Gasmigrationsmessungen im Mai 2004 wurde das Silo freigelegt und die Messkomponenten in der Verfüllung um das Silo, in der Stecke und im Streckenabschlussbauwerk freigelegt und ausgebaut. Diese Arbeiten sind weitestgehend abgeschlossen. Die Gasprobenehmer in der Betonwand des Silos und im Gebirge bleiben installiert und werden von NAGRA für weitere Untersuchungen mit genutzt.

Die Gasprobenehmer in der Verfüllung um das Silo, in der Stecke und im Streckenabschlussbauwerk sowie die zugehörigen Stahlkapillaren und Ventile wurden begutachtet. Sämtliche Komponenten sind in einem einwandfreien Zustand. Es zeigten sich keine Korrosionen und Ablagerungen, die den Messvorgang beeinträchtigen. Die Druckaufnehmer wurden rekaliбриert und zeigten keine signifikante Abweichung vom Sollwert.

Die Laboruntersuchungen am Bentonit-Sand Gemisch, das als Versatzmaterial um das Betonsilo eingesetzt war, sind noch nicht abgeschlossen. Bisher haben sich an diesem bis auf eine Trockendichte von  $2100 \text{ kg/m}^3$  kompaktierten Material Gaspermeabilitäten von  $10^{-15}$  bis  $10^{-16} \text{ m}^2$  und Wasserpermeabilitäten kleiner als  $10^{-20} \text{ m}^2$  ergeben.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weiterführung der Labormessungen zur Ermittlung der hydraulischen Parameter der verschiedenen Baustoffe.

Erstellung des Abschlussberichtes.

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9239</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.02.2000 bis 31.03.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.702.749,45 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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:- Teilnahme am Fachgespräch des PTWT+E in Karlsruhe zum Stand der Szenarienanalyse mit Abstimmung des weiteren Vorgehens zur Aktualisierung einer Sicherheitsanalyse für ein deutsches Endlager im Salz.
- Teilnahme am Statusgespräch des PTWT+E in Karlsruhe zum Stand der Langzeitsicherheitsanalyse mit Beiträgen über den Entwicklungsstand der Instrumentarien und einem Ausblick über notwendige zukünftige FuE-Arbeiten.
  - Teilnahme am Kick-Off Meeting der EBS-Task-Force zum Thema Bentonitaufsättigung in El Rompido, Spanien, mit Vorstellung der von Seiten der GRS geplanten Beiträge zur Aufsättigung durch Dampfdiffusion.
  - Auswertung und Dokumentation der vergleichenden Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit der Endlagerung von abgebranntem Brennstoff in Granit- und Salzformationen.
- TA 2: - Ausrichtung des letzten Arbeitstreffens zum EU-Projekt NAnet in Braunschweig. Abschluss der Reviews zu ausgewählten Studien über Natürliche Analoga. Mitarbeit am Projektabschlussbericht.

Anfertigung eines Entwurfs für den zusammenfassenden Abschlussbericht.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Fertigstellung des zusammenfassenden Abschlussberichts.

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9249</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt des Nachweises der Betriebssicherheit in einem Endlager			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.02.2000 bis 31.12.2004		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.005.489,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Jobmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Während der Betriebsphase eines Endlagers sind aus Gründen der Betriebssicherheit Überwachungsmaßnahmen in den untertägigen Hohlräumen unumgänglich. Gleichzeitig lassen sich grundlegende Daten und Annahmen der im Vorfeld durchgeführten Langzeit-Sicherheitsanalyse an Hand der in der über mehrere Jahrzehnte dauernden Betriebsphase gemessenen Daten überprüfen und die Prognoserechnungen auf eine belastbarere Basis stellen.

Die Glasfasertechnologie bietet gegenüber konventionellen, mit elektrischen Signalen arbeitenden Sensortechniken, unbestrittene Vorzüge. Glasfasern sind nicht nur widerstandsfähiger gegenüber chemischer Korrosion und hohen Temperaturen, ihre ideale elektromagnetische Verträglichkeit, große Bandbreiten, ausgezeichnete Vernetzungseigenschaften und hohe Übertragungsgeschwindigkeiten gewährleisten eine große Zuverlässigkeit.

Das Vorhaben leistet einen wesentlichen Beitrag, um faseroptische Monitoring-Systeme zur technischen Reife für Überwachungsaufgabe im Rahmen von Sicherheitsnachweisen zu führen. Neben der Entwicklung von Monitoring-System-Prototypen ist ihre mehrjährige In-situ-Erprobung in verschiedenen Wirtsgesteinsformationen zur Prüfung der Einsatzfähigkeit vorgesehen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Projektmanagement
2. Überwachungsaufgabe und Sensorik
3. Kriterien zur Qualifizierung
4. Thermo-hydro-mechanische Überwachung
  - a) Wirtsgestein
  - b) Barriere
5. Berichtswesen

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

Im Berichtszeitraum wurden alle faseroptischen Sensoren, die im Rahmen des In-situ-Versuches (GMT) innerhalb einer Bentonit-Sand-Barriere im Felslabor Grimsel eingebaut waren, von Hand rückgeholt inklusive der gesamten Messapparatur. Die Sensoren wurden im Labor einer Nachuntersuchung unterzogen um aufgetretene Probleme zu klären. Die Sensoren, die bereits kurz nach der Installation ausgefallen waren, weisen deutliche Spuren mechanischer Überbeanspruchung auf. Dies erhärtet die bisherige Hypothese, dass diese Sensoren die maschinelle In-situ-Verdichtung des Barrierematerials nicht überstanden haben.

Auch die faseroptischen Sensoren, die im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben zu Testzwecken in-situ eingebaut wurden, sind im Berichtszeitraum rückgeholt worden. Auch diese Sensoren wurde allesamt im Labor einer Nachuntersuchung und Nachkalibrierung unterzogen. Die Nachkalibrierung sollte eventuelle Abweichungen vom linearen Sensorverhalten nach mehrjähriger in-situ Testphase aufzeigen. Es wurden aber keinerlei Abweichungen von der Linearität festgestellt. Dies ist demnach auch auf lange Sicht nicht zu erwarten.

Sämtliche Arbeitsergebnisse wurden in einem Abschlussbericht ausführlich dokumentiert. Der Abschlussbericht wurde vereinbarungsgemäß in englischer Sprache verfasst und setzt sich aus drei Teilberichten zusammen:

- Vol. 1: Summary and Evaluation
- Vol. 2: Technical Details
- Vol. 3: Standard and Qualification Document

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

keine

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9279</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2000 bis 31.07.2004		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.07.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 578.684,14 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Rothfuchs	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des von der SKB durchgeführten Forschungsprojektes "Prototype Repository" soll im schwedischen Hartgesteinslabor Äspö eine Demonstrationseinlagerung von Erhitzern in Großbohrlöchern erfolgen. Die Versuchsstrecke und die Resthohlräume in den Einlagebohrbohrlöchern im Granit werden mit Ton-Lockermaterialien bzw. mit Formteilen aus Bentonit versetzt. Von der GRS wird in diesem Projekt der räumliche und zeitliche Verlauf der Aufsättigung der Bentonitbarrieren mit Hilfe geoelektrischer Widerstandsmessungen qualitativ überwacht. Eine quantitative Umrechnung der Widerstandswerte in Wassergehalte erfordert parallele Laboruntersuchungen, da Tonmaterialien die Leitfähigkeit des Porenfluids während seiner Migration durch Ionenaustausch beeinflussen. Am Ende des Projektes wird aus den In-situ-Messungen und den Ergebnissen der Laboruntersuchungen der zeitliche und räumliche Ablauf der Aufsättigung in den überwachten Bereichen bekannt sein. Die Messdaten stellen für die Überprüfung der numerischen Simulation des Aufsättigungsverhaltens von Tonbarrieren in Langzeitsicherheitsanalysen eine sehr wichtige Datenbasis dar.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projekts "Prototype Repository" von der Europäischen Union gefördert.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

**AP 1:** In-situ-Ermittlung der räumlichen und zeitlichen Wasserverteilung in Gebirge, Bohrloch-Buffer und Streckenversatz

**AP 2:** 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 wurden mit Auslaufen des bestehenden Vertrages Ende Februar 2004 eingestellt und erst nach der verzögerten Bewilligung einer neuen Projektphase im August 2004 wieder aufgenommen. Nachträglich durchgeführte Auswertungen ergaben folgendes Bild bei Vertragsende:

Backfill in Section 1: Bis August 2004 ist die Resistivität im gesamten Messquerschnitt auf ca. 3  $\Omega\text{m}$  abgesunken, was fast der Vollsättigung entspricht.

Backfill in Section 2: Bis August 2004 ist die Resistivität am Streckenrand ebenfalls auf etwa 3  $\Omega\text{m}$  abgesunken. In Streckenmitte beträgt sie noch etwa 3- 7  $\Omega\text{m}$ , was einer Sättigung von 15 – 20% entspricht.

Bei den Messketten im Gebirge zwischen den Einlagerungsbohrlöchern 5 und 6 hat sich wenig geändert. Die Resistivität am Bohrloch 5 sank nach Einbau des Bentonitbuffers auf bis zu 7000  $\Omega\text{m}$ , was dem voll gesättigten Granitgebirge entspricht. Damit konnte die Wiederaufsättigung des Gebirges nach längerer Drainage des offenen Bohrloches nachgewiesen werden.

Die Messungen im Buffer im Bohrloch 5 zeigen in der Buffermitte eine Abnahme der Resistivität von anfänglich 80  $\Omega\text{m}$  auf ca. 24  $\Omega\text{m}$ . Die Aufsättigung des Buffers erfolgt dabei offensichtlich nicht vom Gebirge, sondern von der übergelagerten Strecke her.

**AP 2:** keine

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung des Abschlussberichtes, sowie Weiterführung der Untersuchungen im Rahmen des Folgeprojektes mit dem Förderkennzeichen: 02 E 9944.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9390</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt "Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock - Phase II", FEBEX II			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 428.635,26 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Jockwer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

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

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

Die Gasprobenahmen aus den drei um den Erhitzer 1 installierten Filterrohren wurden fortgesetzt. Die weitere Gasfreisetzung führte zu keinem Druckaufbau, daraus ergibt sich, dass das Gesamtsystem bestehend aus dem umgebenden Gebirge, dem Versatz aus den hochkompaktierten Bentonitformsteinen und dem Steckenverschluss aus Beton nicht gasdicht ist.

Im Dezember wurden die ersten Gasinjektionstests durchgeführt. Sie zeigen, dass der Bentonit auch in Erhitzernähe inzwischen teilgesättigt ist; die Gaspermeabilität nimmt gegenüber den ursprünglich sehr hohen Werten ab. Die Daten müssen noch genauer ausgewertet werden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weiterführung der Messungen zur Gasfreisetzung aus dem aufgeheizten Bentonitversatz.

Weiterführung der Messungen zum Gasdruckaufbau im Porenraum des aufgeheizten Bentonitversatzes.

Weiterführung und Auswertung der Messungen zur Permeabilität des aufgeheizten Bentonitversatzes.

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9491</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2001 bis 30.09.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 30.09.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 376.438,65 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Bernhard	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Projekt hat die Aufklärung der Wechselwirkungsmechanismen von relevanten Aquifer-Bakterien mit Actiniden zum Ziel. Die zu gewinnenden Daten und Kenntnisse sind für die Beurteilung der Mobilität von Radionukliden, insbesondere Actiniden, von Wichtigkeit und können für Modellierungen im Rahmen von Langzeitsicherheitsbetrachtungen für ein Endlager im Hartgestein eingesetzt werden. Im Mittelpunkt des Projektes steht die Untersuchung der Wechselwirkung von *Desulfovibrio äspöensis* mit verschiedenen Actiniden. Es werden Aussagen zu den mikrobiellen Reduktionsprozessen und zu Art und Höhe der Akkumulation von Actiniden an diesen Bakterien erwartet.

Teilziel 1 des Projektes ist eine qualitäts- und quantitätsgerechte Gewinnung der für die Untersuchungen notwendigen Biomasse an *Desulfovibrio äspöensis*.

Teilziel 2 ist die Aufklärung der Wechselwirkung dieses Bakterienstammes mit Uran, Neptunium, Plutonium und Curium.

Dazu werden modernste spektroskopische Verfahren wie Laserspektroskopie und Röntgenabsorptionsspektroskopie eingesetzt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in die Arbeitsaufgaben:

1. - qualitäts- und quantitätsgerechte Produktion der Biomasse
  - Apparative Installation, mikrobiologische Charakterisierung und Kontrolle
2. - Wechselwirkung von *Desulfovibrio äspöensis* mit den Actiniden (Uran, Neptunium, Plutonium und Curium)
  - Bestimmung der akkumulierten Menge pro Trockengewicht Biomasse
  - Abhängigkeit der Akkumulation von pH-Wert, Redoxpotential, Gasatmosphäre, Ionenstärke
  - Bestimmung der Actinidenspeziation in der Lösung (rechnerisch, spektroskopisch) vor und nach der Akkumulation
  - Bestimmung der Actinidenspeziation im Akkumulat

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Optimierte Anzucht und Charakterisierung (Lichtmikroskop und genetische Charakterisierung) der *Desulfovibrio äspöensis* Biomasse
- Abschließende Experimente zur Aufklärung der Wechselwirkungen von Pu(VI) mit *D. äspöensis*

Ergebnisse

AP 1:

kontinuierliche Anzucht und mikrobiologische Charakterisierung der Biomasse von *D. äspöensis*.

AP 5 Plutonium:

Das Pu-242 wurde in zwei Oxidationsstufen (~46% Pu(VI) und ~34% Pu(IV)-Polymere) mit den Zellen von *D. äspöensis* zur Wechselwirkung gebracht. Analog zu U(VI) und Np(V) wurde eine starke Abhängigkeit der akkumulierten Metallmenge von der Ausgangskonzentration des Plutoniums in der Angebotslösung festgestellt. Ab  $[Pu]_{\text{initial}} 170 \text{ mg/l}$  konnte im Gegensatz zum Uran keine lineare Zunahme der akkumulierten Pu-Menge ( $18.2 \text{ mg/g}_{\text{dry weight}}$  bei pH 5) mit zunehmender  $[Pu]_{\text{initial}}$  festgestellt werden. Dies könnte mit einer stärkeren Schädigung der Zellen durch die höhere Toxizität/Radiotoxizität des Pu im Vergleich zum U erklärt werden.

Schon bei Anwesenheit von 0.01 M Lactat wurde eine merkliche Reduktion des Pu(VI) zu Pu(V) ermittelt (nach 72 h nur noch 7.3% als Pu(VI), ohne Lactat noch 48% Pu(VI)). Die Reduktion erfolgt deutlich schneller, wenn Zellen anwesend sind. Aus den Experimenten läßt sich folgender Wechselwirkungsmechanismus ableiten:

- a) Simultane Komplexierung von Pu(VI) und Pu(IV)-Polymeren durch funktionelle Gruppen (z.B. Phosphat-Gruppen) der Bakterienoberfläche
- b) Schnelle Reduktion von Pu(VI) zu Pu(V), innerhalb von 24 h abgeschlossen, und Ablösung des Pu(V) von der Zelloberfläche
- c) Disproportionierungsreaktion des Pu(V) in der Lösung zu Pu(IV) und Pu(VI) mit anschließender Biosorption des Pu(IV) und Pu(VI) an der Bakterienoberfläche
- d) Langsame Reduktion des biosorbierten Pu(V) und Pu(VI) zu Pu(IV) mit anschließender Bildung von Pu(IV)-Polymeren
- e) Eindringen von Pu-Spezies (z.B. Pu(IV)-Polymere) in die Zelle infolge der Schädigung des Zellmembran

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss des Projektes mit der Zusammenfassung aller Ergebnisse im Abschlussbericht
- Erarbeitung von zwei weiteren Publikationen aus den Ergebnissen des Projekts:
  - a) *D. äspöensis* mit U(VI) und
  - b) *D. äspöensis* mit Pu

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

H. Moll, G. Geipel, G. Bernhard: Complexation of Curium(III) by Adenosine 5'-triphosphate (ATP): A Time-resolved Laser-induced Fluorescence Spectroscopy (TRLFS) Study, *Inorganica Chimica Acta*, akzeptiert (2004).

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9511</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2001 bis 31.12.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 710.316,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Filbert

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen einer vergleichenden Gegenüberstellung sollen die charakteristischen Unterschiede zwischen einem generischen Endlager für hochaktive Abfälle im Salz und einem in Tongestein herausgearbeitet werden. Insbesondere sollen die Auswirkungen hinsichtlich der Sicherheit, der Technik und der Kosten analysiert und offene Fragen identifiziert werden.

Die Gegenüberstellung konzentriert sich auf den Bereich Endlager. Gleichwohl werden Aspekte der Standorterkundung, Endlagerbehälter, Konditionierung, Langzeitsicherheit und Geochemie behandelt. Als Basis für ein Endlager im Salz dienen die Ergebnisse aus der „Aktualisierung des Konzepts Endlager Gorleben“ sowie entsprechende systemanalytische Untersuchungen. Beim Tongestein wird auf Ergebnisse im Ausland zurückgegriffen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Rahmen des Vorhabens arbeitet die DBE TECHNOLOGY GmbH an folgenden Arbeitspaketen:  
AP1: Zusammenstellen der Basisdaten und Randbedingungen für eine vergleichende Gegenüberstellung

Zusammengestellt werden Basisdaten zu den internationalen Endlagerszenarien, den Abfällen, Behältermaterialien, Anforderungen zu Verfüll- und Verschleißmaterialien sowie zu Aspekten der Standorterkundung.

AP2: Endlagerbehälterkonzepte

Im Rahmen der Untersuchung von Endlagerbehälterkonzepten werden Daten zur Abfallkonditionierung und zu Behälterkonzepten zusammengestellt und eine Kostenabschätzung durchgeführt.

AP3: Endlagerauslegung/-technik

Es erfolgt die Auswahl eines Endlagerkonzeptes und eine konzeptionelle Auslegung der über- und untertägigen Anlagen sowie der notwendigen Maschinenteknik mit Kostenabschätzung. Die Unterschiede zwischen Ton- und Salzkonzept werden identifiziert.

AP4: Endlagersicherheit der Betriebsphase

Behandelt werden hier die Themen Strahlenschutz, Safeguards sowie Kritikalität.

AP5: Endlagersicherheit in der Nachbetriebsphase

Aspekte der Geochemie im Hinblick auf Langzeitsicherheit sowie Randbedingungen und grundlegende Aspekte für einen Langzeitsicherheitsnachweis werden in diesem Arbeitspaket bearbeitet.

AP6: Zusammenfassende Bewertung und Dokumentation der Untersuchungsergebnisse sowie Aufzeigen der offenen Fragen**3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Im Rahmen der zusammengestellten Basisdaten und Randbedingungen wurde festgestellt, dass eine direkte Übertragbarkeit der internationalen Konzepte zur Endlagerung in Ton auf deutsche Verhältnisse nicht gegeben ist. Die Begründung liegt einerseits im frühen Entwicklungsstadium der Konzepte und andererseits in ihrer Abhängigkeit von der gewählten Tonformation.

Hinsichtlich der Behälterkonzepte zeigte es sich, dass die für das Wirtsgestein Salz konzipierte Endlagergebäude grundsätzlich auch für ein Endlager in Ton einsetzbar sind.

Erfahrungen im Bergbau in Ton können sowohl für die Streckenauffahrung und –sicherung als auch für die Erstellung von Bohrlöchern übertragen werden.

Der Vergleich der benötigten Endlagerflächen zwischen Ton und Salz als Wirtsgestein zeigte das bei gleichem Abfallaufkommen im Salz für POLLUX 10-Behälter in Streckenlagerung und HAW-Kokillen in Bohrlochlagerung ca. 1 km<sup>2</sup> Fläche gegenüber 0,9 km<sup>2</sup> für HAW-Kokillen und 6,8 km<sup>2</sup> für POLLUX 3-Behälter in Streckenlagerung benötigt werden. Hintergrund ist hier der zulässige höhere Wärmeeintrag durch eine Gebindetemperatur von max. 200 °C in Salz gegenüber 100 °C in Ton.

Der Errichtungs- und Erhaltungsaufwand des Grubengebäudes im Wirtsgestein Ton wird deutlich über den im Wirtsgestein Salz liegen. Dieses ist einerseits durch die erforderlichen Stabilisierungsmaßnahmen und andererseits durch die notwendige Größe des Grubengebäudes begründet.

Die Untersuchungen zur Endlagersicherheit in der Betriebsphase zeigten im Bereich des Strahlenschutzes, dass die betrieblichen Abläufe und Überwachungsaufgaben unabhängig vom Wirtsgestein erhalten bleiben. Als ggf. offene Frage ist das unterschiedliche Rückstreuverhalten von Neutronen an Tonstein gegenüber Salz unter Strahlenschutzaspekten identifiziert worden.

Im Rahmen der Arbeiten zur Endlagersicherheit in der Nachbetriebsphase wurden die standortunabhängigen und damit von der Wirtsgesteinsformation unabhängigen langfristig relevanten Schutzziele herausgearbeitet. Dabei wurden radiologische und konventionelle Schutzziele betrachtet.

Die durchgeführten Untersuchungen zur Kritikalität zeigten, dass für das vorgegebene Kernbrennstoffinventar auch unter der Annahme von sehr unwahrscheinlichen Szenarien eine Kritikalität in beiden Wirtsgesteinen und allen Einlagerungskonzepten ausgeschlossen werden kann.

**4. Geplante Weiterarbeiten**

keine

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9521</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2001 bis 30.06.2005		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 355.414,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr.-Ing. Müller-Hoeppe	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Um einen objektiven, einheitlichen Sicherheitsmaßstab zu erhalten, wie er im System der Eurocodes als Ziel verankert ist und auch den Richtlinien für Bauten des Umweltschutzes zur Beherrschung wassergefährdender Stoffe zu Grund 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 Zusammenstellung quantitativer Daten zur Ermittlung des Sicherheitsniveaus für Einzelbarrieren konzentrierte sich bisher auf die Bewertung der geotechnischen Barrieren, wie Schachtverschlüsse und Abdichtungen/Dämme, und deren hydraulischen Widerstand. Dabei wurde der ingenieurtechnische Nachweis in die Betrachtungen einbezogen. Da die Datenbasis zur Bewertung von Auflockerungszonen im Ton und Granit relativ schlecht ist und Daten zur Bewertung der Kontaktzonen nicht vorliegen, war für methodische Tests auch die Datenbasis zur Bewertung des hydraulischen Widerstandes geotechnischer Barrieren im Salz zusammengestellt worden und weiter ausgewertet. Die Zusammenstellung der Datenbasis zur Permeationsbarriere Behälter im Wirtsgestein Granit wurde unterbrochen.

AP4: Hinsichtlich der probabilistischen Absicherung der Teilsicherheitsbeiwerte lässt sich als Ergebnis der bisherigen Untersuchungen festhalten, dass die Einführung einer unteren Schranke für die Permeabilität, z. B. erzielt durch technische Maßnahmen, sowie einer Mindestlänge für das Abdichtungsbauwerk das nachweisbare Sicherheitsniveau deutlich erhöht.

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: Arbeiten zur Bestimmung von Teilsicherheitsbeiwerten unter Berücksichtigung der modifizierten Vorgehensweise aufgrund der teilweise unzureichenden Datenbasis weiterführen.

Vorgesehen ist es, das o. g. Modell, soweit dies aufgrund der vorliegenden Datenbasis möglich ist, auf die Endlagerformationen Granit und Ton zu übertragen.

AP5: Zusammenstellung aller Ergebnisse, Dokumentation und zusammenfassende Bewertung

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9531</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2001 bis 31.12.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 770.566,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Jobmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

Die ANDRA führt in Mont Terri einen Erhitzer-Vorversuch unter der Bezeichnung „Heater Experiment HE-D“ durch, an dem sich die DBE TECHNOLOGY gemäß der Vereinbarung mit ANDRA beteiligt. Im Rahmen des Versuches wurde ein faseroptisches Extensometer und eine Temperaturfaser in einer horizontalen Bohrung senkrecht zum Erhitzer installiert. Die kontinuierliche Aufzeichnung der Messwerte wurde im Berichtszeitraum fortgesetzt.

Parallel zur Datenerfassung erfolgt eine begleitende thermo-hydro-mechanische Modellierung des Versuches zur Verbesserung des Systemverständnisses. Zur Anpassung des Modells wurden sowohl die eigenen faseroptischen Messungen (Temperatur und Verschiebungen) als auch Messergebnisse der GRS (Temperatur und Porenwasserdruck) sowie von Solexperts (Verschiebungen mittels sliding micrometer) verwendet. Zusammen mit den Ergebnissen der Labormessungen an Bohrkernen bezüglich der thermophysikalischen Gesteinsparameter konnte eine zufrieden stellende Anpassung des Modells erzielt werden. Einzig im erhitzernahen Bereich treten noch Effekte auf, die im Modell noch nicht ausreichend beschrieben werden konnten.

Im Untertagelabor in Bure bereitet die ANDRA derzeit den ersten Versuch im Schacht (REP) vor. In einer definierten Schachtteufe wird eine Nische aufgeföhren. Aus dieser Nische heraus werden Untersuchungsbohrungen in Richtung des weiter abzuteufenden Schachtes gebohrt und messtechnisch instrumentiert, um die Gebirgsantwort auf den Abteufprozess zu erfassen. Im Berichtszeitraum wurde ein faseroptisches Extensometer zum Einbau in einer der Bohrungen vorbereitet und im Labor kalibriert. Das numerische Modell zur Analyse der Messergebnisse wurde hinsichtlich Geometrie und Vernetzung der aktuellen In-situ-Versuchskonfiguration angepasst. Im Bereich des Schachtes wurde das Modell anhand einer zweidimensionalen analytischen Lösung (Kirsch solution) erfolgreich verifiziert. Anschließend wurde die Aufföhren des Schachtes gemäß der Aufföhrensgeschichte im Modell simuliert um den Anfangsspannungszustand vor Beginn des eigentlichen Experimentes zu ermitteln.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weitere analysierende numerische Berechnungen zum thermo-hydro-mechanischen Verhalten des Opalinustons im Rahmen des HE-D Versuches in Mont Terri.

Einbau des faseroptischen Extensometers in der Schachtnische in Bure und Beginn der Datenaufzeichnung.

Analysierende numerische Berechnungen zum hydro-mechanischen Verhalten des Callovo-Oxfordian Tonsteins als Reaktion auf den Schachtvortrieb.

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9551</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2001 bis 28.02.2005		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.252.955,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> 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:

- Abschließende Auswertung der Ergebnisse aus Grundwasser- und Sedimentuntersuchungen
- Erstellung eines konzeptuellen Modells zur Entwicklung der geologischen Verhältnisse und der Urananreicherung am Standort
- Auswertung der Arbeiten zur Granitcharakterisierung
- Weiterführende Untersuchungen zu immobilen Uranphasen

Ergebnisse:

- Identifikation weiterer immobilier vierwertiger Uranphasen und eines geringen Anteils sechswertigen Urans in ausgewählten Proben
- Das Alter der Basaltintrusionen am nahe gelegenen Standort Hajek wurde mittels K/Ar-Datierung auf 15 Mio. Jahre bestimmt und stellt einen wichtigen Baustein für die Szenarienentwicklung dar.

#### Standort Heselbach

Durchgeführte Arbeiten:

- Abschluss der Geländearbeiten, Abbau der Wetterstation
- Analytik von stabilen Isotopen,  $^3\text{He}$  und Tritium in Grundwasserproben (Wiederholungsmessungen) zur Absicherung des hydrogeologischen Modells
- Erstellung eines vertikalen 2D-Strömungs- und Transportmodells mit dem Programm FEFLOW
- Überprüfung des konzeptuellen Modells mittels erster Strömungs- und Transportrechnungen

Ergebnisse:

- Erstellung eines konzeptuellen, hydrogeologischen Modells
- Entwicklung eines möglichen Uranengese Modells für die Lokation.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### Standort Ruprechtov

- Aussagen zum Verhalten von TOC und zur Bildung von Kolloiden am Standort Ruprechtov. Vergleich mit Prozessen in Gorleben
- Integration aller Ergebnisse.

#### Standort Heselbach

- Abschließende Auswertung und Zusammenfassung der durchgeführten analytischen Arbeiten
- Darstellung und Überprüfung des konzeptuellen Modells mit Hilfe von Transportrechnungen mit dem Programm FEFLOW.

Fertigstellung des Abschlussberichts.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Noseck, U.; Brasser, Th.; Rajlich, P.; Laciok, A.; Hercik, M.; Mobility of uranium in tertiary argillaceous sediments – a natural analogue study. Radiochim. Acta **92**, 797-803 (2004).

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9561</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Modellentwicklung zur Quellung hochkompakter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 – 120 °C			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2001 bis 30.09.2004		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 30.09.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 797.096,88 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Herbert	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, mittels einer in der GRS im Rahmen des Vorgängervorhabens 02 E 8986 entwickelten Messmethode, statistisch abgesicherte Quelldruckdaten für kompaktierte Bentonite im Kontakt mit relevanten Salzlösungen unter endlagerrelevanten Randbedingungen im Temperaturbereich 25 bis 120 °C zu ermitteln. Anhand der gemessenen Quelldrücke und der Versuchsparameter Lösungszusammensetzung, Rohdichte, Temperatur, Feststoff/Lösungsverhältnis soll ein Modell aufgestellt werden, mit dem die experimentellen Ergebnisse durch Regression nachvollzogen werden können. Es werden drei experimentelle Teilziele verfolgt:

- Ermittlung statistisch abgesicherter Quelldruckdaten von kompaktierten Bentoniten mit den Rohdichten 1,6, 1,7 und 1,8 g/cm<sup>3</sup> mit den hochsalinaren Lösungen NaCl-, IP9-, P24-, P21- und IP19-Lsg.
- Entwicklung einer geeigneten Messapparatur und Ermittlung erster Quelldruckdaten bei erhöhten Temperaturen.
- Untersuchung des Einflusses von geometrischen und Skalierungsfaktoren auf den Quelldruck.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### AP1: Bau der Messstände für Quelldruckmessungen bei Umgebungstemperaturen

Es werden zwei Messstände gebaut, mit denen bis zu acht Messungen gleichzeitig möglich sind.

### AP2: Durchführung der Messungen bei Umgebungstemperaturen

Es werden die Messungen zum Erreichen des Teilziels 1 durchgeführt.

### AP3: Quelldruckmessungen in Abhängigkeit von der Probengeometrie

Es wird eine neue Messzelle für quaderförmige Probekörper gleichen Volumens gebaut und Messergebnisse mit zylindrischen Zellen und der quaderförmigen Zelle verglichen.

### AP4: Quelldruckmessungen in Abhängigkeit von der Probengröße

Fremde FuE-Mittel für den Bau einer großen Messapparatur für Quelldruckmessung an einem Verbund von bis zu vier Bentonitziegelsteinen wurden nicht genehmigt.

Alternativ werden im AP4 Messungen an zylindrischen Probekörpern unterschiedlicher Länge durchgeführt und die Ergebnisse verglichen.

### AP5: Bau, Test und Durchführung von Quelldruckmessungen bei erhöhten Temperaturen

Es wird eine Messapparatur gebaut, die Quelldruckmessungen an zylindrischen Probekörpern im Temperaturbereich 25 bis 120 °C ermöglichen, gebaut und getestet. Erste Messergebnisse werden vorgelegt.

#### AP6: Erstellung des geochemischen Modells für Quelldrucke

Die Messergebnisse werden verwendet, um ein geochemisches Modell zur Prognose von Quelldrücken kompaktierter Bentonite in Abhängigkeit von der Lösungszusammensetzung, dem Feststoff/Lösungs-Verhältnis, der Rohdichte und der Temperatur aufzustellen. Das empirische Modell wird die experimentell ermittelten Zusammenhänge durch Regression beschreiben.

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

Die Auswertung der durchgeführten Quelldruckversuche wurde weitergeführt und abgeschlossen. Der Abschlussbericht wurde weitestgehend fertiggestellt.

Das angestrebte Ziel, die Erstellung eines Modells zur Prognostizierung des Quelldrucks bei bekannter Lösungszusammensetzung, wurde nur teilweise erreicht. Es zeigten sich zwar, wie erwartet, Unterschiede in den Quelldrücken, die auch gut dokumentiert werden konnten. Eine ausreichend gute Korrelation zwischen Lösungsschemismus und Quelldruck für die Erstellung eines mathematischen Modells konnte jedoch trotz vieler hundert durchgeführter Messungen nicht festgestellt werden. Die Schwankungen innerhalb gleicher Messserien waren dafür zu groß. Andere Einflussgrößen wie Homogenität der Proben, Rohdichte, Wasserwegsamkeiten und Flutungsregime haben in der Summe einen größeren Einfluss auf den resultierenden Quelldruck als der Lösungsschemismus. Die Messungen mit unterschiedlich großen Messzellen mit zylindrischer und quaderförmigen Geometrie zeigen, dass die Probengeometrie keinen wichtigen Einfluss auf die Quelldrucke hat. Quelldruckmessungen bei erhöhten Temperaturen wiesen Schwierigkeiten auf, die mit der eingesetzten Technik nicht lösbar waren. Zuverlässige, d.h. reproduzierbare, Quelldruckmessungen bei hohen Temperaturen liegen nicht vor.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Quelldruckmessungen unter endlagerrelevanten Bedingungen, d.h. mit repräsentativen Lösungen (nicht mit Wasserdampf) und unter Einhaltung gleicher Randbedingungen in Bezug auf Probenherstellung und Versuchsführung durchgeführt wurden. In den Laborversuchen konnten durch vielfältige Kontrollen die Versuchsrandbedingungen konstanter gehalten werden, als dies in einem Endlager zu erwarten ist. Die mangelnde Reproduzierbarkeit der Versuche kann damit zu tun haben, dass die Wasseraufnahme aus den gesättigten Salzlösungen nicht instantan, sondern mit einer vom lokalen Kompaktionsgrad abhängigen Geschwindigkeit erfolgt. Ferner folgt auch die Kristallisation von Salzen aus den durch den kompaktierten Bentonit wandernden zunehmend übersättigten Lösung einer jeweils eigenen Kinetik, die mit der lokalen Übersättigung zunimmt. Dass trotz aller Bemühungen keine bessere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu erreichen war, zeigt die praktischen Schwierigkeiten auf, die der Umgang mit dem Material Bentonit mit sich bringt. Als endlagerrelevante Erkenntnis aus dem Vorhaben ist somit hervorzuheben, dass der zu erwartende Quelldruck einer Bentonitbarriere aus reinem MX-80 Bentonit im Kontakt mit unterschiedlichen Lösungen nun größenordnungsmässig feststeht. Eine genauere Aussage über Modellierung ist aus unserer Sicht nicht möglich und Versuche dies zu tun wären nicht belastbar.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Fertigstellung des Abschlussberichts

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

in Vorbereitung

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9571</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2001 bis 31.12.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 172.917,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Krone

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

International herrscht Übereinstimmung darüber, dass hochradioaktive Abfälle in tiefen geologischen Formationen endgelagert werden. Weltweit gibt es Endlagerprojekte in den Wirtsgesteinsformationen Salz, Granit, Ton und Tuff. Des weiteren wird die Eignung von Grünschiefer sowie Porphyrit und Permafrost diskutiert. Den höchsten Entwicklungsstand weisen die Endlagerprojekte im Salz, Granit, Ton und Tuff auf.

Die Bundesregierung hat in der Neuausrichtung der Endlagerforschung festgelegt, alternativ zu Salz, auch andere Wirtsgesteinsformationen zu untersuchen. Aufgrund der großen Komplexität der betroffenen wissenschaftlich-technischen Fragestellungen und der aufgezeigten Vielfalt betrachteter Wirtsgesteine, erlangt die internationale Kooperation in der Endlagerforschung große Bedeutung.

Gegenstand des Vorhabens ist die wissenschaftlich-technische Begleitung einiger Forschungsaktivitäten zur Endlagerung in alternativen Wirtsgesteinen. Ziel ist es dabei, die Zusammenarbeit der beteiligten deutschen Forschungseinrichtungen untereinander und mit ausländischen Partnern so zu gestalten, dass eine große Effektivität der Arbeiten und ein nachhaltiges Gesamtergebnis erreicht wird.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Vorbereitung gemeinsamer Forschungsvorhaben
2. Koordinierung bei der Durchführung gemeinsamer Forschungsvorhaben
3. Planung und Berichterstattung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Arbeiten auf die Begleitung des laufenden Gemeinschaftsvorhaben

- 02E9612 – Anforderungen an die Standorterkundung für HAW Endlager im Hartgestein (ASTER)

um die notwendigen Abstimmungen mit den beteiligten deutschen Partnern BGR, GRS und russischen Institutionen für die planmäßige Durchführung des Vorhabens zu treffen.

Das Vorhaben umfasst vor allem die Arbeiten zu den bilateral zwischen BMWA und russischem MINATOM vereinbarten Projekten

- B.2 Untersuchungen zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen Granitformationen,
- B.3 Untersuchungen zur Endlagerung hochradioaktiver und wärmeentwickelnder verglaste Abfälle in Porphyrformationen und
- B8. Auswahl und Erprobung von fortgeschrittenen Verfahren zur Wirtsgesteinscharakterisierung.

Im Ergebnis des Besuches von Wissenschaftlern des Khlopin-Institutes (St. Petersburg) im INE (FZK) im Juni 2004 wurde ein gemeinsames Untersuchungsprogramm zur Relevanz von Kolloiden für Endlagerstandorte im Granit abgestimmt. Mit der Aufnahme der praktischen Arbeiten hierzu ist im 2. Halbjahr 2005 zu rechnen.

Ferner wurde für die nächsten drei Jahre ein gemeinsames Arbeitsprogramm zur Fortführung der Projekte B.2 und B.8 abgestimmt. Im Mittelpunkt stehen dabei Untersuchungen zur Wirksamkeit der geologischen und geotechnischen Barrieren im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen.

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

Neben der Fortführung der Begleitung der Arbeiten zu den unter Ziff. 3 genannten Themen bildet der Abschluss des ASTER-Vorhabens den Schwerpunkt der weiteren Arbeiten. Dabei ist vorgesehen, die Empfehlungen zur Standorterkundung und Auswahl im Kristallingestein nachvollziehbar, in einem gemeinsamen Abschlussbericht niederzulegen.

Ferner ist insbesondere die Erweiterung der Zusammenarbeit um Fragestellungen des Kolloidtransportes sowie der Entwicklung von Behältern und Konditionierungsverfahren für hochradioaktive Abfälle zu unterstützen.

#### **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

J. Krone, et al.:

Russian-German cooperation in developing a methodological approach for site exploration and selection for radwaste disposal in crystalline rocks, VII. Internat. Conference Safety of Nuclear Technologies: Radioactive Waste Management, St. Petersburg, 27. – 30.09.2004

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9592</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.03.2002 bis 30.09.2004		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 30.09.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 653.234,50 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Wiczorek	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Anhydrit- und Salztonschichten sind Bestandteile der Normalabfolge des Salinars und unterliegen in der Betriebs- und Nachbetriebsphase eines Endlagers gebirgsmechanischen Beanspruchungen. Während im Steinsalz infolge Konvergenz erhöhte Gebirgsspannungen abgebaut werden, kommt es in den steiferen und festeren Anhydrit- und Salztonschichten zu Belastungserhöhungen durch Spannungsumlagerungen. Es muss hier mit Klüften gerechnet werden und infolgedessen mit Zutritten von Laugen und Wässern. Das Vorhaben wird als Gemeinschaftsprojekt mit dem Institut für Gebirgsmechanik, Leipzig, im Salzbergwerk Bernburg durchgeführt. Da in dieser Grube Steinsalz gewonnen wird und Anhydrit in Form von Klippenstrukturen aufgeschlossen ist, bestehen sehr günstige geologische und bergbauliche Bedingungen, in einem überschaubaren Zeitraum den Anhydrit unter dem Einfluss großräumiger Gebirgsspannungsänderungen zu untersuchen. Schwerpunkte sind die quantitative Beschreibung der induzierten Seismizität (Rissbildung und -fortpflanzung), der Einfluss des Spannungsfeldes auf die Risspermeabilität sowie die Modellierung der mechanischen und hydraulischen Vorgänge.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1: Großräumige, langfristige Überwachung der induzierten Seismizität mit Schallemissionsmessungen in Array-Technik in einem geklüfteten Anhydrit-Bereich und quantitative Beschreibung der SE-Ereignisse

AP 2: Permeabilitäts-Vergleichsmessungen mit Gas in unterschiedlich aufgelockerten Gebirgsbereichen

AP 7: Auswertung und zusammenfassende Berichterstattung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP 1:

Die bisher angefallenen seismischen Registrierungen wurden ausgewertet. Die Messungen bestätigen die bereits vorgestellten Ereignishäufungen im Bereich des Anhydrits. Eine Korrelation mit den Abbauaktivitäten im Bereich des Steinsalzes konnte festgestellt werden. Speziell in den Jahreszeiten Herbst und Winter, in denen verstärkt Salz, z.B. als Streumaterial für Straßen, gewonnen wurde, war eine deutliche Zunahme der seismischen Ereignisse im Steinsalz festzustellen.

#### AP 2:

In der für die Permeabilitätsmessungen erstellten 56-mm-Bohrung, die bis in eine Tiefe von 433 m in das Gebiet der größten Häufung der seismischen Ereignisse im Anhydrit reichte, wurden Messungen zur Bestimmung der Permeabilität des Anhydrits mit Lauge vorgenommen. Die Untersuchungen erfolgten mit einem 4-fach Packersystem oberhalb der mit einer Bohrlochkamera festgestellten Kluft und im Bereich dieser Kluft. Erwartungsgemäß fiel die Permeabilität im ungestörten Anhydrit mit weniger als  $10^{-18} \text{ m}^2$  deutlich geringer aus als im Bereich der Kluft mit einem Wert von  $2 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ . Aufgrund des äußerst geringen Druckabfalls während der Messzeit, ist der ermittelte Permeabilitätswert im ungestörten Anhydrit von  $10^{-18} \text{ m}^2$  hierbei als oberer Grenzwert anzusehen und liegt eher niedriger.

#### AP 7:

Die Auswertungen wurden abgeschlossen und mit der Erstellung des Abschlussberichts begonnen. Insgesamt hat sich gezeigt, dass die Anwendung der unterschiedlichen Messverfahren, seismische Ortung, visuelle Begutachtung mittels Bohrlochkamera sowie die Permeabilitätsmessungen zu einem schlüssigen Ergebnisse über die Verhältnisse im untersuchten Gebirgsbereich geführt haben, und dass diese Messmethoden für weiterführende Untersuchungen anwendbar sind.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

keine

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Wieczorek, K., Mieke, R., Rothfuchs, T.: Influence of Mining Activity on the Integrity of Salt Formations as Candidate Host Rocks for Nuclear Repositories. - WM '05 Conference, February 27 – March 3, 2005, Tucson, AZWM-5217.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9602</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> 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> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2002 bis 31.03.2005		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 671.019,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> 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 erste Entwurf des Abschlussberichtes für die Europäische Kommission ist beim Projektkoordinator (BGR) termingerecht (Ende Oktober) abgeliefert worden. Dieser Bericht muss vom Projektkoordinator mit den anderen Versuchspartnern noch abgestimmt werden.

Die Laboruntersuchungen an den aus dem Versuchsfeld gewonnenen Proben wurden abgeschlossen. Durch die In-situ-Aufheizung über 15 Monate bis auf 60 °C haben sich keine signifikanten Veränderungen des Opalinus Tons ergeben.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Erstellung des Abschlussberichtes

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9612</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein (ASTER)	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.02.2002 bis 31.03.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 652.764,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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.

AP2:

Der Schwerpunkt der Arbeiten bestand im Abschluss und in der Ergebnisdokumentation der Optimierung der thermischen Endlagerauslegung für die am stärksten wärmeentwickelnde Cs/Sr-Fraktion. Dabei war sicherzustellen, dass die Grenztemperaturen sowohl für den Bentonitbuffer (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 Variationsuntersuchungen abgeschlossen, 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.

AP4:

In Ergänzung der Arbeiten der BGR wurden aus den Anforderungen der Endlagerplanung Empfehlungen für die Fortführung der Standorterkundung abgeleitet und der Entwurf für ein Versuchsprogramm zur Optimierung und zum Test seismischer Erkundungsverfahren erstellt.

AP5:

Gemeinsam mit den deutschen Projektpartnern wurde der Entwurf des Abschlussberichtes erstellt und abgestimmt. Die Grundlage hierfür bildete der vorläufige interne Zwischenbericht, der ergänzt und vervollständigt wurde. Im Mittelpunkt standen dabei die Empfehlungen für die weitere Standorterkundung.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Der verbleibende Zeitraum bis zum Abschluss des Projektes Ende März 2005 soll vorrangig für die Abstimmung eines zitierfähigen Abschlussberichtes mit den russischen Projektpartnern genutzt werden, um die erzielten Forschungsergebnisse zu dokumentieren. Darüber hinaus ist der Entwurf des Versuchsprogramms zur Seismik mit den russischen Projektpartnern abzustimmen.

### 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> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9622</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein (ASTER) AP3: Vorbereitung eines sicherheitsanalytischen Endlager- und Standortmodells		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.02.2002 bis 31.03.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 449.395,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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 Porphy), 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 Porphy

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es wurden Restarbeiten zur Überarbeitung der Eingangsdaten der Modelle mit den von russischer Seite übermittelten Daten vorgenommen und das Strömungsfeld sowie die Radionuklid-ausbreitung neu berechnet. Der Zwischenbericht wurde komplett überarbeitet, weshalb sich seine Fertigstellung um etwas mehr als einen Monat verzögerte.

Am 31.08.2004 fand in Braunschweig ein Arbeitstreffen mit den russischen Kollegen statt. Von russischer Seite wurden dabei Informationen zum Stand der Arbeiten im Nishnekansker Granitoidmassiv und zu weiteren vorgesehenen Arbeiten gegeben. Des Weiteren wurde ein kurzer Überblick über das ISTC Projekt No 2764 und die Vorbereitung des neuen ISTC Projektes gegeben. Von deutscher Seite wurde das Treffen genutzt, um die Ergebnisse der bisherigen Arbeiten vorzustellen. Weiterhin erfolgte eine erste Absprache von Themen für das Folgeprojekt WIBASTA. Dabei stieß der deutsche Vorschlag einen Modellvergleich zwischen russischen und deutschen Strömungs- und Transportmodellen mit Hilfe von Benchmarks durchzuführen bei den russischen Kollegen auf Interesse.

Am 16.12.2004 fand in Moskau ein Arbeitstreffen mit den russischen Kollegen statt. Dabei wurde der gemeinsame Abschlussbericht diskutiert. Von der russischen Seite gab es keine Bemerkungen oder Ergänzungs- bzw. Änderungswünsche zu den grundsätzlichen Aussagen. Zu den Kapiteln „Schlussfolgerungen und Empfehlungen“ werden von russischer Seite Ergänzungen bis Ende 2004 geliefert, die eine Bewertung des Nutzens der Projektarbeiten und –ergebnisse widerspiegeln. Bis Mitte Februar 2005 wird das Kapitel „Sicherheitsanalytische Modelle“ um die Arbeiten von VNIPIPT erweitert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Übersetzung aller Kapitel und Anlagen des Abschlussberichtes ins Russische wird Ende Januar abgeschlossen. Die Korrekturen und Änderungswünsche werden in die deutsche Version eingebaut. Zur abschließenden Abstimmung der deutschen und der russischen Version ist für die zweite Hälfte März 2005 ein Arbeitstreffen in Deutschland geplant.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Krone, J.; Jobmann, M.; Ziegenhagen, J.; Lerch, C.; Lopatin, V.V.; Kamnev, E.N.; Gupalo, T.A.; Brewitz, W.; Fein, E.; Fahrenholz, C.; Wallner, M.; Hammer, J.: Russian-German Cooperation in Developing a Methodological Approach for Site Exploration and Selection for Radwaste Disposal in Crystalline Rock. Vortrag auf der VII internationalen Konferenz über „Sicherheit der Kerntechnologien: Management radioaktiver Abfälle sowie ausgedienten Kernbrennstoffs“. 27.9. – 1.10.2004, St. Petersburg, Russland.

Brewitz, W.; Fein, E.; Fahrenholz, C.: Hydrogeological modelling, a prerequisite in long-term safety assessment for underground waste disposal. Vortrag auf Int. Conf. on „Groundwater flow understanding from local to regional scales“. XXXIII IAH 7° ALHSUD. 11. – 15.10.2004, Zacatecas City, Mexico.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2 a, 38670 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9632</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2002 bis 28.02.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 777.912,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Lux	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: 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 ergänzender laborativer Untersuchungen zur Bestätigung früherer Ergebnisdaten.
- 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.
- AP6: Modifizierung des im Rahmen der Schädigungsmechanik entwickelten Stoffmodells *How/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: *Bei Bedarf* - Durchführung exemplarischer laborativer Untersuchungen zur Bestätigung / Ergänzung bereits vorliegender Ergebnisdaten.
- AP4: Durchführung weiterer laborativer Untersuchungen vor dem Hintergrund vorhandener Laborergebnisse zur Bestimmung von lokationsbezogenen Eingabedatensätzen zur Beschreibung des Stoffmodells *How/Lux-T*.
- AP5: Planung und Durchführung weiterer laborativer Untersuchungen zum hydromechanisch gekoppelten Festigkeitsverhalten an Tongestein.
- 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 am Referenzmodell einer Strecke im Tonsteingebirge.
- AP8: Schlussbericht

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55099 Mainz		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9653</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 322.376,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Trautmann	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Diodenarray-Detektor (DAD) wurde beschafft und installiert. Damit konnten erste Experimente durchgeführt werden. Durch Kopplung der CE an eine hochauflösende ICP-MS (HR-ICP-MS) wurde die Nachweisgrenze für Plutonium auf etwa 100 ppt gesenkt.

Die Redoxkinetik von Plutonium in Kontakt mit Gorleben-Fulvinsäure (GoHy-573) wurde mittels CE-ICP-MS bei  $\text{pH} \approx 1$  untersucht. Mit zunehmender Kontaktzeit zeit sich eine Reduktion der Oxidationsstufen Pu(V) und Pu(VI) zum Pu(III) und Pu(IV). Die Komplexbildung von Pu(III) bei verschiedenen Metallionenkonzentrationen ( $1,18 \times 10^{-6}$  M;  $1,18 \times 10^{-7}$  M;  $1,18 \times 10^{-8}$  M) mit Aldrich Huminsäure (0 – 25 mg/L) ist bei  $\text{pH} \approx 5,5$  untersucht worden. Dabei wurde gefunden,

dass Pu(III) bei  $\text{pH} \approx 5,5$  eine starke Absorption an den verwendeten Ultrafiltern aufweist. Dies führt zu großen Unsicherheiten in der Bestimmung der Loading Capacity und damit der Komplexbildungskonstanten.

Weiterhin wurde das Absorptionsverhalten von Pu(IV) an Filtermembranen bei verschiedenen pH-Werten studiert. Während bei pH 1,8 nur 10 – 20 % des Pu(IV) an dem Filter absorbiert werden, erhöht sich der Wert bei pH 3,8 auf ca. 80 % und bei pH 4,8 auf über 85 %.

Das Fällungsverhalten von Aldrich-Huminsäure bei niedrigen pH-Werten (1,8; 2,5; 3,0) wurde mit Hilfe der UV/VIS-Spektroskopie bestimmt. Nach einer Woche wurden für pH 1,8; 2,5 und 3,0 Ausfällungsraten von 80 %; 30 % bzw. 0 % erhalten.

Weiterhin wurde untersucht, ob die Ultrafiltration eine geeignete Methode zur Untersuchung des Komplexbildungsverhaltens von Plutonium mit Gorleben-Fulvinsäure (FA) ist. Die Experimente ergaben, dass nur 40 – 80 % Fulvinsäure vom Filter zurückgehalten werden, wohingegen für Huminsäure 85 – 95 % erreicht werden. Dies zeigt, dass die Methode der Ultrafiltration nicht zur Bestimmung von Komplexbildungskonstanten im System Plutonium/Fulvinsäure geeignet ist

Die Sorption von  $8 \times 10^{-6}$  und  $1 \times 10^{-11}$  M Np(V) an Kaolinit wurde im pH-Bereich von 6,0 bis 10,5 in Gegenwart von  $\text{CO}_2$  in Batch-Experimenten untersucht. Weiterhin wurde in einer Machbarkeitsstudie an der ESRF der Frage nachgegangen, ob trotz des Zirkoniumanteils im Kaolinit KGa-1b EXAFS-Messungen zur Speziation des Neptuniums möglich sind.

Die Sorptionskurven für  $8 \times 10^{-6}$  und  $1 \times 10^{-11}$  M Np(V) an Kaolinit zeigen einen nahezu gleichen Verlauf. Die Absorptionskante liegt zwischen pH 7,5 und 8,0 und das Sorptionsmaximum bei pH 9,0, wobei ein Wert von ca. 75 % erreicht wird. Oberhalb von pH 9,5 sinkt der Anteil des sorbierten Np(V) kontinuierlich infolge der Carbonatkomplexierung des Neptuniums in der Lösung. Während Uran(VI) im neutralen pH-Bereich fast zu 100 % am Kaolinit sorbiert, wird Neptunium(V) mit einem Anteil von 10 % deutlich schwächer gebunden.

Die EXAFS-Machbarkeitsstudie ergab, dass durch Anregung der Np  $L_2$ -Kante bei 21,6 keV das EXAFS-Spektrum einer Sorptionsprobe mit 300 ppm Np bis  $k$  gleich  $11,5 \text{ \AA}^{-1}$  in guter Qualität messbar ist. Weiterhin ergab die EXAFS-Analyse dieser Probe, dass bei pH 9,0 eine Neptuniumcarbonat-Spezies aus  $8 \times 10^{-6}$  M Np(V) Lösung an dem Kaolinit sorbiert wird.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten mit der CE-DAD-ICP-MS Kopplung sollen fortgeführt werden, um eine weitere Alternativmethode zur Bestimmung von Komplexbildungskonstanten des Plutoniums mit Humin- und Fulvinsäuren zu entwickeln. Weitere Experimente mit der CE-HR-ICP-MS sind geplant. Zur Bestimmung der Loading Capacity von Aldrich-Huminsäure mit Pu(III) sollen im pH-Bereich von 3 – 7 Versuche durchgeführt werden. Die Untersuchungen mit der Kopplung CE-RIMS sollen zu Ende gebracht werden. Schließlich sollen die Komplexbildungskonstanten von Pu(III) und Pu(IV) mit Huminsäure und Fulvinsäure ermittelt werden.

Nachdem die Sorption von Np(V) an Kaolinit in Gegenwart von  $\text{CO}_2$  untersucht wurde, sollen die Batch-Versuche unter  $\text{CO}_2$ -Ausschluss wiederholt werden. Weiterhin ist geplant, die Speziation des Neptuniums in Abhängigkeit vom pH-Wert in An- und Abwesenheit von  $\text{CO}_2$  mit Hilfe der EXAFS-Spektroskopie zu bestimmen, wofür die notwendige Synchrotronstrahlzeit von der ESRF bewilligt worden ist.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9663</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Entwicklung und Einsatz von Radiotracern für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 371.126,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kupsch	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Status der Arbeitspakete:

- AP 2: Entwicklung neuer Verfahren zur Radiomarkierung von Huminstoffen mit  $^{18}\text{F}$  sowie  $^{124/125/131}\text{I}$  durch Azokupplung mit radiohalogenierten Benzolderivaten
- AP 3: Charakterisierung der Mischaggregation von Huminstoffen und amphiphilen Fremdorganika mittels High-Performance Size Exclusion Chromatography (HPSEC)
- AP 4: Untersuchung der Auswirkung der Mischaggregation auf die Humatkomplexbildung von  $^{160}\text{Tb}$ Tb(III) als Analogtracer für An(III)
- AP 5: Untersuchung des Konkurrenzeffektes von Fe(III) bezüglich des Komplexierungsvermögens verschiedener Huminstoffe gegenüber  $^{152}\text{Eu}$ Eu(III) als Analogtracer für An(III): Abhängigkeit von Fe-Konzentration und Kontaktzeit Fe/Huminsäure; Konzentrationsabhängigkeit der Eu-Humatkomplexbildung

Ergebnisse:

Untersuchungen mit verschiedenartigen Huminstoffen haben gezeigt, dass Konkurrenzreaktionen von Fe(III) bezüglich der Humatkomplexbildung von Eu(III) generell erst oberhalb einer Schwellenkonzentration von  $10^{-5}$  M Fe an Bedeutung gewinnen und somit gegenüber Flockungsprozessen in den Hintergrund treten, welche bereits bei wenig höheren Fe-Konzentrationen einsetzen. In einem Langzeitversuch über mehrere Monate wurde festgestellt, dass der Konkurrenzeffekt umso stärker ausgeprägt ist, je länger die Huminsäure mit Fe(III) vorequilibriert wurde. Folglich führt der Kontakt mit mehrwertigen Metallen längerfristig zu Veränderungen in der inneren Struktur der Kolloide, die einen Metallaustausch (bzw. eine Wechselwirkung mit verbliebenen freien Bindungsplätzen) zunehmend behindern.

Messungen der Eu(III)-Humatkomplexbildung im Bereich von  $10^{-5}$  bis  $10^{-11}$  M Eu(III) bei Huminsäurekonzentrationen von 1 bis 100 mg/l ergaben keine Konzentrationsabhängigkeit.

Die Modifizierung der hydrophilen / hydrophoben Eigenschaften von Huminstoffen in Wechselwirkung mit niedermolekularen amphiphilen Verbindungen ist nicht mit Veränderungen in der Größenverteilung des kolloidalen Systems verbunden. Umverteilungsprozesse zwischen losen Assoziaten finden demnach nicht statt. In Speziationsuntersuchungen konnte weder für kationische noch für anionische und nichtionische amphiphile Fremdkomponenten ein signifikanter Einfluss auf die Bindungsfinität von Huminsäuren gegenüber Metallen festgestellt werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführende Untersuchungen zur Konkurrenzreaktion An(III)/Fe(III): Radiotracerversuche mit  $^{59}\text{Fe}$
- Untersuchung der Auswirkung von  $\text{SO}_4^{2-}$ -Präsenz auf die Humatkomplexbildung von  $^{152}\text{Eu}$ Eu(III) als Analogtracer für An(III)
- Quantitative Untersuchungen zur Mischaggregation und Adsorption anthropogener Kohlenstoffverbindungen in Gegenwart von Huminstoffen anhand  $^{14}\text{C}$ -markierter Modellkomponenten

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

K. Franke, J.T. Patt, M. Patt, H. Kupsch, J. Steinbach, „A new technique for radiolabelling of humic substances“, *Radiochim. Acta* **92** (2004) 359-362.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9673</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 352.156,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Bernhard	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Untersuchungen zur Reduktion von Np(V) zu Np(IV) in Gegenwart von Huminsäuren (HS) wurden fortgeführt und auf weitere Huminstoffe unterschiedlicher Funktionalität ausgedehnt (synthetische HS mit ausgeprägter Redoxfunktionalität: Cat-Gly und Hyd-Glu; HS mit blockierten phenolischen OH-Gruppen: Hyd-Glu-PB; natürliche Huminstoffe: HS Aldrich; Fulvinsäure Kleiner Kränichsee). Die Bestimmung der Np-Speziation in Lösung erfolgte mittels TTA-Lösungsmittlextraktion, laserinduzierter photoakustischer Spektroskopie, NIR-Absorptionsspektroskopie und Ultrafiltration. Im Vergleich zur Aldrich HS zeigen die HS Cat-Gly und Hyd-Glu signifikant größere Redoxkapazitäten. Durch Einsatz der HS Hyd-Glu-PB konnte die dominierende Rolle phenolischer OH-Gruppen bei der Np(V)-Reduktion durch HS nachgewiesen werden.
- Untersuchungen zum Einfluss von HS auf die U(VI)-Sorptions am Kaolinit KGa-1b wurden unter CO<sub>2</sub>-Ausschluss fortgesetzt. Unterschiede in der U(VI)-Sorptions in An- und Abwesenheit von CO<sub>2</sub> existieren bei pH > 8. In CO<sub>2</sub>-Gegenwart bewirkt die Bildung von UO<sub>2</sub>-Carbonat-Komplexen eine Abnahme der Sorptions, die in CO<sub>2</sub>-Abwesenheit nicht zu beobachten ist. In CO<sub>2</sub>-Abwesenheit nimmt die HS-Sorptions zu, was vermutlich auf Unterschiede in der Oberflächenspeziation in An- und Abwesenheit von CO<sub>2</sub> zurückzuführen ist. Der HS-Einfluss auf die U(VI)-Sorptions in Abwesenheit von CO<sub>2</sub> wird derzeit untersucht.
- Untersuchungen zur Sorptionskinetik im System U(VI)-HS-Kaolinit zeigten, dass nach 50 h Kontaktzeit ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Eine 24-stündige Vorkonditionierung von U(VI) mit HS hat nur einen geringen Einfluss auf die U(VI)-Sorptions.
- EXAFS-Untersuchungen an U(VI)-HS M42-Kaolinit-Sorbaten wurden durchgeführt.
- Die U(VI)-Sorptions an synthetischen Kaolinit-Huminstoff-Sorbaten (Reaktionsprodukt HS-Synthese in Kaolinit-Gegenwart) wurde untersucht und mit der U(VI)-Sorptions im ternären System U(VI)-HS-Kaolinit verglichen. Erste Ergebnisse zeigen, dass, in Abhängigkeit vom pH-Wert, die Freisetzung von Huminstoffen aus dem Kaolinit-Huminstoff-Sorbat (Typ M42) die Mobilisierung von U(VI) signifikant erhöhen kann.
- Der HS-Transport im Laborsystem Kaolinit KGa-1b-Wasser wurde im Diffusionsversuch unter Einsatz <sup>14</sup>C-markierter HS M42 untersucht. Die HS-Diffusion im kompaktierten Ton wird durch ihr kolloidales Verhalten beeinflusst. Größenausschlusseffekte bestimmen die Diffusionsparameter (Diffusionskoeffizient, Kapazitätsfaktor  $\alpha$ ). Mittels Ultrafiltration wurde gezeigt, dass der HS-Fluss durch eine Größenfraktionierung stark eingeschränkt wird.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Erarbeitung von Verfahren zur Präparation stickstoffhaltiger Modell-HS und deren spektroskopischer Charakterisierung
- Fortführung der Auswertung der EXAFS-Daten von U(VI)-HS M42-Kaolinit-Sorbaten
- Fluoreszenzspektroskopische Charakterisierung von U(VI)-Oberflächenspezies an Kaolinit KGa-1b in An- und Abwesenheit von HS
- Fortführung der Arbeiten zur U(VI)-Sorptions an synthetischen Kaolinit-Huminstoff-Sorbaten
- Durchführung erster Experimente zur Np(V)-Sorptions an Kaolinit KGa-1b in Abwesenheit und Gegenwart von HS (Variation des pH-Wertes, CO<sub>2</sub>-An- und Abwesenheit)
- Bestimmung des Diffusionsverhaltens von U(VI) im Laborsystem Kaolinit KGa-1b-Wasser in Ab- und Anwesenheit von HS; Einsatz <sup>14</sup>C-markierter synthetischer HS M42
- Untersuchung der U(IV)-Komplexierung durch Huminstoffe
- Laufende Aktualisierung der digitalen Huminstoff-Komplexierungs-Datenbank

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66041 Saarbrücken		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9683</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 260.584,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Beck	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Stellvertretend für radiotoxische Nuklide wird im o. a. Forschungsprojekt die Komplexbildung der Lanthaniden Eu und Gd mit Huminsäure untersucht. Dabei wird auch der Einfluss von Konkurrenzreaktionen wie Ca, Mg oder Al, die in natürlichen Gewässern immer präsent sind, berücksichtigt. Aus der Literatur ist bekannt, dass neben der Interaktion von Metall und Huminsäure unter natürlichen Bedingungen zusätzlich der Einfluss von kolloidal gebundenem Metall beachtet werden muss. Diese komplexen Vorgänge spielen im Hinblick auf eine Bewertung der Endlagersicherheit 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 in dem 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):

Wie eine Reihe von ausgeführten Arbeiten zeigt, hat die Modifizierung der Geomatrix mit Huminsäure einen entscheidenden Einfluss auf die Mobilisierung bzw. Retardation der komplexierungsfähigen Schwermetalle. Aus diesem Grund soll in diesem Arbeitspaket die Wechselwirkung der Huminsäure mit der Festphase (Kaolinit) untersucht werden.

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

Bei der Untersuchung des Systems Schwermetall-Huminsäure wird der Schwerpunkt der Arbeit bei der Untersuchung der Kinetik der Komplexbildung 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.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Das Arbeitspaket 1 wurde, wie im Zeitplan vorgesehen, abgeschlossen. Die durchgeführten Untersuchungen zum Einfluss der Kaolinit-Vorbehandlung auf die Auflösung des Minerals ergaben teilweise hohe Konzentrationen an freiem Aluminium je nach pH-Wert und Ionenstärke. Bei den folgenden Arbeitspaketen soll daher zusätzlich auch der Einfluss von Al auf das Komplexierungsverhalten der Schwermetalle berücksichtigt werden.

Im Berichtszeitraum konnte erstmalig eine online-Auftrennung und Detektion von freiem Metall und Metall-Humat-Komplexen mittels Kopplung von Kapillarelektrophorese und ICP-MS (CE-ICP-MS) durchgeführt werden. Die Kopplung wird über ein von uns weiterentwickeltes Interface realisiert, in welchem die CE-Kapillare über eine flexible Verbindung in einen Micromist-Zerstäuber (50 µl) geführt wird. Durch die sich anschließende Optimierung der CE-ICP-MS-Kopplung konnten u.a. aufgrund der sehr hohen Nachweisempfindlichkeit unterschiedliche Metall- bzw. Metall-Humat-Spezies nebeneinander nachgewiesen werden.

Die Versuche mittels fluorimetrischer Detektion (Batch-Experimente mit einem Fluoreszenzspektrometer) zeigten eine nur geringe intrinsische Fluoreszenz der untersuchten Lanthaniden Eu und Gd sowie der zusätzlich untersuchten Metalle Sm und Tb. Bei der Untersuchung verschiedener Fluoreszenz-Liganden zur Erhöhung der Nachweisempfindlichkeit zeigte sich der Komplex Eu-Tetracyclin-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> als am besten geeignet. Der Komplex ist jedoch nur im pH-Bereich zwischen 6,4 und 8,4 stabil und die Nachweisgrenze von etwa 50 ppb (bezogen auf Eu) ist für die Bestimmung der Komplexbildungskonstanten zu hoch. Da für Gd überhaupt kein vergleichbarer Fluoreszenzkomplex nachgewiesen werden konnte, wird der Schwerpunkt unserer weiteren Untersuchungen auf dem Einsatz der CE-ICP-MS-Kopplung liegen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im Vordergrund steht im nächsten Berichtszeitraum die Bestimmung der Komplexbildungskonstanten für Eu und Gd im binären System Metall-Huminsäure sowie die Untersuchungen zum Einfluss der Konkurrenzreaktionen wie Ca, Mg und Al auf das Komplexierungsverhalten der Schwermetalle.

Zur weiteren Optimierung ergibt sich die Notwendigkeit der simultanen Detektion von Schwermetall und Huminsäure im Trennsystem CE-ICP-MS, um die Speziation der Metall-Humate aufklären zu können. Dies soll durch eine geeignete Modifizierung der Huminsäure erreicht werden.

Für das dritte binäre System Metall-Kaolinit (Arbeitspaket 3) werden pH-edges sowie Adsorptions- und Desorptionsexperimente von Eu und Gd mit Kaolinit durchgeführt. Außerdem wird der Einfluss von Ca, Mg und Al als Konkurrenzreaktionen bestimmt.

### 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.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstraße 21, 80290 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9693</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 327.328,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Rösch	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

- Quantenmechanische Modellierung der 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 1.1/1.2: Koordinationsmoden von Uran(VI)-Carboxylaten; solvatisierte Neptunyle(VI/V); Neptunium(VI)- und Neptunium(V)-Carboxylate in Lösung

Hier wurde die Energetik der mono- und bidentaten Bindung von Uranyl an eine Carboxylgruppe für aliphatische Säuren und Glykolsäure analysiert. Die bidentate Bindung ist hierbei stärker als die monodentate. Eine ähnliche Komplexierungsenergie beider Bindungsmoden ergibt sich dann daraus, dass im monodentaten Fall ein Aqualigand des Komplexes  $\text{UO}_2(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$  verdrängt wird, im bidentaten Fall jedoch deren zwei. Die bisher berechneten Reaktionsenergien sollen mittels Berechnung von Normalschwingungen durch thermodynamische Korrekturen verbessert werden.

Die Rechnung zu Neptunyl-Komplexen wurden fortgesetzt. Zur Evaluierung der Methode wurden die solvatisierten Neptunyle  $\text{NpO}_2(\text{H}_2\text{O})_5^{2+/+}$  in Lösung berechnet. Im Vergleich zu EXAFS-Daten ergab sich eine gute Übereinstimmung von Bindungsabständen und Frequenzen, wobei der Np-Wasser-Abstand geringfügig unterschätzt wird. Im Vergleich dazu zeigen andere theoretische Dichtefunktional-Berechnungen eine deutliche Überschätzung der entsprechenden Bindung. Die Berechnungen in Lösung ergaben für beide Oxidationsstufen, dass die fünffache Koordination mit Aqualiganden energetisch bevorzugt ist. Der Grundzustand der Np(VI)- bzw. Np(V)-Komplexe ist ein Dublett- bzw. Triplettzustand. Erwartungsgemäß wurden nur geringe Effekte der Spin-Bahn-Wechselwirkung gefunden.

Gasphasenberechnungen zur Komplexierung der Neptunyle mit aliphatischen Carboxylaten wurden durch Solvatationseffekte ergänzt (PCM-Modell inkl. expliziter Aqualiganden). Die resultierenden Trends entsprechen qualitativ und quantitativ denen in der Gasphase. Die Ergebnisse für U(VI) und Np(VI) unterscheiden sich nur geringfügig, Np(V) weist wegen der reduzierten Ladung deutlich längere Bindungen sowie reduzierte Schwingungsfrequenzen auf. Wie bei U(VI) sind bi- bzw. monodentate Formen der Koordination von Carboxylat an  $\text{NpO}_2^{2+/+}$  aufgrund der unterschiedlichen Zahl von Aqua-Liganden ähnlich stabil (s. o.). Die Bildungsenergien der Actinylcarboxylate für U(VI) und Np(VI) sind ähnlich und etwa doppelt so groß wie bei Np(V). Die Abschirmung in Lösung bedingt eine deutliche Reduktion der Bildungsenergie auf etwa 90 kJ/mol für Np(VI) bzw. 40 kJ/mol für Np(V).

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

Hier wurden Berechnungen zur Wechselwirkung von Uranyl mit aliphatischen Alkoholen und Alkoholaten in der Gasphase durchgeführt. Alkoholate binden aufgrund ihrer Ladung stärker, wobei die Bindungsenergien vergleichbar mit denjenigen der Carboxylaten sind. Die Gasphasen-Ergebnisse lassen erste Einblicke in mechanistische Fragestellungen zu. Alkohole liegen bei niedrigen pH-Werten überwiegend protoniert vor, in den entsprechenden Uranylkomplexen wird aber wie bei den Carboxylaten von Alkoholat-Liganden ausgegangen. Die Deprotonierung der Alkohole ist in der Gasphase stark endotherm. Komplexierung durch Uranyl erleichtert die anschließende Deprotonierung (exotherm in der Gasphase). Damit scheint für die Bildung von Uranylalkoholaten bei niedrigem pH eine vorausgehende Deprotonierung des freien Alkohols nicht zwingend notwendig zu sein. Die Berechnungen sollen auf Solvatationseffekte erweitert werden, die einen deutlichen Einfluss auf die Deprotonierungsreaktion haben. Weiterhin sollen phenolische Gruppen vergleichend untersucht werden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP 1.1: Spin-Bahn-Effekte bei Carboxylatkomplexen von Np(VI)/(V)

AP 1.2: Komplexierung von Np(VI)/(V) mit Glykolsäure, Komplexierung von U(VI) mit aromatischen Carbonsäuren

AP 1.3: Solvation von Uranyl-Alkoholaten; Komplexierung mit aromatischen Alkoholen (Phenol)

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

F. Schlosser, S. Krüger, N. Rösch: A Density Functional Study of Uranyl Monocarboxylates. In Vorbereitung.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 69047 Heidelberg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9703</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 243.084,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Grunze	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist eine detaillierte Prozessaufklärung einerseits hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen dem  $\text{Cm}^{3+}$  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

Die Wechselwirkung von einem dreiwertigen Actinid (Cm(III);  $1 \cdot 10^{-7}$  mol/L) mit Huminsäure (20 mg/L; pH 6) wurde mit Hilfe der zeitaufgelösten Laserfluoreszenzspektroskopie (TRLFS) untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Huminsäure nach der Komplexierung des Metallions die Fluoreszenzemission des Cm(III) beeinflusst (Fluoreszenzquenching). Die Wechselwirkung zwischen Huminsäure und Actinid führt zu einer nicht linearen Abnahme der Cm(III) Emission mit der Zeit. Der Fluoreszenzzerfall kann bioexponentiell angepasst werden und liefert die Lebensdauern  $\tau_{1(\text{H}_2\text{O})} = 76 \pm 3 \mu\text{s}$  und  $\tau_{2(\text{H}_2\text{O})} = 145 \pm 15 \mu\text{s}$  in  $\text{H}_2\text{O}$  sowie  $\tau_{1(\text{D}_2\text{O})} = 129 \pm 5 \mu\text{s}$  und  $\tau_{2(\text{D}_2\text{O})} = 570 \pm 7 \mu\text{s}$  in  $\text{D}_2\text{O}$ . Da sich aus den gemessenen Lebensdauern unabhängig vom Medium ( $\text{H}_2\text{O}$  oder  $\text{D}_2\text{O}$ ) die gleichen Quenchraten errechnen lassen, folgt, dass nur ein Cm/Huminsäurekomplex bei pH 6 existiert. Durch weitere Auswertung der Spektren und der Fluoreszenzlebensdauern kann auf eine sechsfache Koordination des Curiums durch die Huminsäure geschlossen werden; drei Wassermoleküle verbleiben nach der Komplexierung in der ersten Koordinationssphäre des Actinids.

Mit Hilfe des im Rahmen des Projektes angeschafften Schwingquarzsystems wurde die Sorption von Humin- und Fulvinsäure an Goldoberflächen untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass sich die Adsorption der HS und FS an einer Modelloberfläche mediumabhängig und zeitaufgelöst verfolgen lässt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Der Einfluss von Fulvinsäure auf die Cm(III) Fluoreszenzemission soll bestimmt werden und analog den Untersuchungen zur Wechselwirkung von Cm(III) mit Huminsäure sollen Strukturinformationen zu den gebildeten Actinid/Fulvinsäure Komplexen erarbeitet werden. Die erhaltenen Ergebnisse zur Wechselwirkung von Cm(III) mit Huminsäure und Fulvinsäure bei pH 6 sollen in einem wissenschaftlichen Journal veröffentlicht werden.

Die Adsorptionsexperimente mit dem Schwingquarzsystem sollen mit  $\text{Al}_2\text{O}_3$  beschichteten Sensoren durchgeführt werden und die Menge an einer Tonmineral-ähnlichen Oberfläche sorbierter Humin- und Fulvinsäure gravimetrisch quantifiziert werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Es liegen noch keine Veröffentlichungen vor.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9713</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager, - SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor, Vorprojekt		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2003 bis 31.12.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 766.227,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. 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 für Endlager werden im Labor das Aufsättigungsverhalten, die sich einstellenden Quelldrücke sowie die Gas- und Wasserpermeabilitäten von verschiedenen Ton/Mineral-Gemischen 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: Laboruntersuchungen sowie Auslegungs- und Modellrechnungen.

In diesem Arbeitspaket sollen geeignete Verschlussmaterialien für Endlager in Tonformationen ausgewählt, Einbringtechniken getestet, Materialparameter bestimmt, Dichtigkeitstests sowie Auslegungs- und Modellrechnungen vorgenommen werden.

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**

Als letzter Arbeitspunkt im Rahmen des SB-Vorprojektes war die Erstellung der Versuchsnische im Mt. Terri Untertagelabor durch zu führen. Die Arbeiten zur Erstellung der sog. "Gallery 2004" mit den Nischen für die Experimente EZ-B, HG-A, SB und DR wurde planmäßig im August 2004 begonnen. Ausführender im Auftrag des Mt. Terri Konsortiums war die Firma Rotpletz. Die SB-Nische wurde im November 2004 erstellt und die obligatorische geologische Kartierung wurde vom Geotechnischen Institut Bern vorgenommen. Nach der Betonierung der Nischensohle im Dezember 2004 und Installation der Stromversorgung wird die Nische ab Ende Januar 2005 für Installation erster Messonden zur Erfassung der Porenwasserdruckverteilung als Eingabemesswert für Auslegungsmodellierungen zur Verfügung stehen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weiterführung des SB-Experimentes im Rahmen des Hauptprojektes FKZ 02 E 9894

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9723</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.06.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.063.543,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Moog

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

EQLINK: Einarbeitung der aktuellen Radionuklidkonzentrationen des INE in die Parameterdatei für CHEMAPP. Eine Berechnung der Lösungsdichten erfolgt derzeit auf Grundlage scheinbarer Molvolumina einzelner Konstituenten der wässrigen Phase nach Helgeson et al. Ein erweiterter Ansatz für die bessere Berechnung gesättigter Salzlösungen, sei es nach Pitzer oder nach einem modifizierten Helgeson-Ansatz, ist mit der aktuellen Struktur der Parameterdatei für CHEMAPP nicht möglich. EQLINK wurde so modifiziert, dass das aufrufende Programm Systemvolumen und Temperatur als Zielvariablen für die thermodynamische Gleichgewichtsrechnung definieren kann. EQLINK liefert jetzt eine komplette Volumenbilanz aller Phasen zurück. Bevorstehende Arbeitsschritte zur Realisierung eines Algorithmus, der ermittelt, wann eine erneute Rechnung von EQLINK/CHEMAPP notwendig ist, wurden vorbereitet.

CHEMAPP: Das Programm wurde entspr. den im Angebot dargestellten Anforderungen geändert und an GRS ausgeliefert. Wasserverbrauchende, geochemische Prozesse können stabil gerechnet werden. Temperaturabhängige Pitzer-Parameter sowie die temperaturunabhängigen Pitzer-Parameter alpha-1 und alpha-2 können über die Parameterdatei frei gewählt werden.

EMOS: Die Erweiterung der Modelle für die Langzeitsicherheitsanalyse von Endlagern um das durch EQLink realisierte Geochemiemodell sind zunächst durch konzeptionelle Überlegungen vorbereitet worden. Dabei wurden auf der Ebene des konzeptionellen Modells u. a. durch die Festlegung auf ausgewählte Einlagerungsorte relevante geochemische Prozesse abgegrenzt. Die Schwierigkeit der Modellerweiterung liegt im Einfluss der geochemischen Modellierung auf die Bilanzen von Wasser und Gas und damit auf das Strömungsmodell. Darüber hinaus erfordert die chemische Modellierung eine detailliertere Modellierung der transportierten Inventare in den Modellen der Langzeitsicherheitsanalyse. Diese Konzepte erfordern eine Erweiterung der implementierten Datenstrukturen. Bestehende Prozessimplementierungen müssen an diese erweiterten Strukturen angepasst werden, z.B. die Berechnungen des radioaktiven Zerfalls. Diese Arbeiten wurden ebenso begonnen wie die Einbindung der EQLink-Schnittstelle.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

EQLINK: Beginn der Arbeiten zur Realisierung eines Algorithmus, der ermittelt, wann eine erneute Rechnung von EQLINK/CHEMAPP notwendig ist

CHEMAPP: es wird geprüft, ob ein weiterer Auftrag an GTT vergeben werden soll.

Ziele: Implementierung eines Datenmodells für die Berechnung von Aktivitätskoeffizienten nach der erweiterten Debye-Hückel Theorie (die sog. WATEQ-Parameter a und b);

Implementierung eines kombinierten Datenmodells nach Helgeson et al. und dem derzeit für GRS modifizierten Pitzer-Modell;

Vorgabe von Startwerten für die thermodynamische Gleichgewichtsrechnung.

EMOS: Die Implementierung der Modellerweiterungen im EMOS-Modul LOPOS werden fortgesetzt. Es werden Testfälle für das erweiterte Modell erstellt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9733</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.06.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 748.584,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Jobmann	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zu 2.3 und 2.5:

Im Berichtszeitraum wurden thermische Auslegungsberechnungen für den Raumbedarf eines Endlagers durchgeführt sowie Berechnungen zur Abschätzung der Hebungen/Senkungen an der Tagesoberfläche, die durch die thermische Ausdehnung des Gebirges auftreten. Alle Berechnungen basieren zunächst auf der Basis eines Referenz-Modellgebietes für Süddeutschland mit dem Opa-

linuston als Wirtsgestein. Es wurde ausschließlich das Einlagerungskonzept der Bohrlochlagerung betrachtet.

Die im ersten Schritt der thermischen Auslegung für verschiedene Varianten berechneten Zwischenlagerzeiten zeigen, dass beispielsweise durch eine Graphitisierung des Bentonits im Ringraum des Bohrlochs die erforderlichen Zwischenlagerzeiten im Vergleich zu denen von reinem Bentonit signifikant reduziert werden können. Eine zwischen dem Behälter und dem Bentonit angeordnete Sandschicht kann die Zwischenlagerzeiten ebenfalls deutlich verringern. Eine derartige Einlagerungskonfiguration eröffnet insbesondere die Möglichkeit, MOX Brennelemente, zumindest im Verschnitt mit Uran Brennelementen im Verhältnis 10/90, in einer Tonformation in Deutschland ohne Verletzung des Grenzkriteriums (100°C) einzulagern.

Im zweiten Schritt wurde der notwendige Behälterabstand ermittelt. Eine Graphitisierung des Bentonits erfordert bei gleicher Wärmeleistung eines Behälter einen größeren Behälterabstand im Vergleich zu der Verwendung von reinem Bentonit. Die Größe des minimal notwendigen Bohrlochabstandes wurde in einem dritten Schritt für zwei Behältertypen berechnet. Die Größe bzw. der Raumbedarf eines Endlagers wurde anschließend bei vorgegebener Anzahl einzulagernder Behälter aus dem ermittelten Behälter- und Bohrlochabstand bestimmt.

Die darauf basierenden Hebungsberechnungen für die Tagesoberfläche zeigen, dass unter Berücksichtigung eines Wärmetransports in lateraler Richtung im Wirtsgestein sowie unter Berücksichtigung des mechanischen Widerstandes des umgebenden Gebirgsbereiches in allen Fällen die maximal zulässigen Vorformungen zum Zeitpunkt des Hebungsmaximums sowohl für setzungsempfindliche Maschinen als auch zur Vermeidung von Rissbildungen deutlich unterschritten werden.

Zu 2.7:

Die in 2004 durchgeführten Arbeiten sowie deren Ergebnisse wurden in einem internen Jahresbericht zusammenfassend dokumentiert.

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

Für das Modell „Süddeutschland“ werden noch die Abstände der Bohrungen bei Einlagerung von Brennstabkorkillen ermittelt sowie die Größe bzw. der Raumbedarf des Endlagers und die Hebungen und Senkungen an der Tagesoberfläche. Daran schließen sich Untersuchungen zur bautechnischen Machbarkeit des Endlagers an.

Für das Modell „Norddeutschland“ wird ein geeignetes Gebiet für ein Referenzmodell aus geologischer Sicht ermittelt. Die thermophysikalischen Gesteinsparameter sollen anhand von Literaturdaten oder durch Messungen an Bohrkernmaterial aus der Unterkreide bestimmt werden. Ein repräsentativer Temperaturgradient wird aus regionalen Temperaturdaten ermittelt und ein konzeptuelles Modell erstellt. Dieses wird anschließend in ein numerisches Computermodell umgesetzt und getestet. Daran anschließend werden Auslegungsberechnungen, wie in Abschnitt 3 beschrieben, analog für dieses Referenzmodellgebiet durchgeführt.

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9743</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2003 bis 30.06.2008		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 544.748,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Jobmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, faseroptische Temperatur-, Totaldruck- und Porenwasserdruck-Sensoren, die aus unterschiedlichen Materialien (Titan und Edelstahl) gefertigt sind, im Rahmen der auf 5 respektive 10 Jahre angesetzten Versuche im URL Äspö einem In-situ-Langzeittest unter hohen Temperaturen und in korrosiver Umgebung zu unterziehen. Die Messungen sollen modelltheoretisch begleitet werden, um die gemessenen Werte im Modell nachvollziehen 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

Im Berichtszeitraum erfolgte eine Erfassung und Dokumentation der Messparameter. Parallel zur Messdatenerfassung erfolgten Modellberechnungen zur thermischen Entwicklung des TBT-Versuches auf Basis vorgegebener Erhitzerleistung und Materialparameter für Sand, Bentonit und umgebenden Granit. Ziel war es, die thermische Entwicklung im Versuch und im Modell in weitestgehende Übereinstimmung zu bringen, so dass die thermischen Verhältnisse im Modell mit zufrieden stellender Genauigkeit beschrieben werden können.

Wesentlich für die thermische Entwicklung im System sind die thermischen Materialparameter des Bentonits. Aus diesem Grund wurden die thermischen Materialparameter des im In-situ-Versuch verwendeten Bentonits anhand von Laborversuchen bestimmt. Es handelt sich dabei um die Wärmeleitfähigkeit, die Temperaturleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität und den thermischen Expansionskoeffizienten. Die Wärmeleitfähigkeit liegt z. B. im Bereich von  $0,8 - 1,3 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ . In allen Fällen konnte eine deutliche Abhängigkeit vom Wassergehalt und eine etwas geringere Abhängigkeit von der Temperatur festgestellt werden. Besonders deutlich wird die Abhängigkeit vom Wassergehalt beim thermischen Ausdehnungsverhalten. Je höher der Wassergehalt desto stärker ist die eintretende Schrumpfung des Materials bei steigender Temperatur und damit steigender Wasserfreisetzung. Die Laboruntersuchungen wurden in einem gesonderten Bericht dokumentiert.

Die in den Laborversuchen ermittelten Materialparameter wurden als Eingangsdaten für die Modellierung verwendet. Eine Reihe von Vorwärtsmodellierungen zur Simulation der Temperaturentwicklung im System wurden, basierend auf der gemessenen Spannbreite der Parameter, durchgeführt und führten schließlich zu einer zufrieden stellenden Beschreibung der zeitlichen Temperaturentwicklung im Vergleich mit den gemessenen Werten.

### 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> Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9753</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracern		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2003 bis 31.07.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 413.581,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Richter	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Untersuchungen des Sorptionsverhaltens eines mit  $^{58}\text{Co}$  markierten PET-Tracers ( $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ -Komplex) an den für die Untertage Labors Aspö und Grimsel charakteristischen granitischen Verwitterungsprodukten  
Ergebnisse: Oberflächenbezogene Adsorptionsisothermen des PET-Tracers für Granit und verschiedene Mineralien: Pyrit, Limonit, Muscovit, Diorit, Titanit, Epidot, Adular, Calcit, Apatit, Quarz, Orthoclas, Pyrolusit, Milarit, Fluorit, Chlorit, Albit, Biotit, Galenit, Magnetit, Bauxit
- Hydraulische Tests mit granitischen Bohrkernen an der Hochdruckversuchsanlage bei verschiedenen Druckverhältnissen  
Ergebnis: Optimierung der Versuchsanlage und Versuchsbedingungen
- Entwicklung eines speziellen Korrekturverfahrens für die tomographische Bildrekonstruktion zur Reduzierung des erhöhten Streufehlers beim Einsatz von PET-Isotopen, die neben den Positronen auch Gammaquanten emittieren.  
Ergebnis: Verbesserung der Genauigkeit für die quantitative Bestimmung der lokalen Tracerverteilungen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- PET-Tracerexperimente zur lokalen Verteilung des Wassertransports in granitischen Bohrkernen
- Untersuchungen zur Markierung von Kolloiden mit PET-Isotopen
- Untersuchungen des Sorptionsverhaltens markierter Kolloide an granitischen Verwitterungsprodukten

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstraße 21, 80290 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9763</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2003 bis 31.10.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 491.930,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Kim

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### 1. Irreversible Bindung von Actiniden an stabilen Hydroxy-Aluminosilicat(HAS)-Kolloiden

Die essentielle Frage nach der Irreversibilität der Actinid-Kolloidbindung ist zwangsweise mit der Methode, die die Actinid-Kolloid-Bindungsaffinität erfasst, gekoppelt. Es ist daher wichtig, verschiedene Methoden mit jeweils unterschiedlicher Aussagekraft bzw. Limitierungen einzusetzen, mit dem Ziel, aus möglichst vielen Informationen ein Gesamtbild zu erhalten, das eine signifikante Aussage über die Irreversibilität der kolloidalen Actinid-Bindung ermöglicht.

In unseren früheren Arbeiten wurde die Inkorporation von Actiniden bzw. die Stabilität der Actinid-Kolloidbindung entweder radiometrisch oder spektroskopisch verfolgt. Radiometrisch wurde die Aktivität von drei- bis sechswertigen Actiniden in der kolloidalen Phase sowohl in Abhängigkeit der Zeit, als auch nach Desorption mit inaktivem Medium bestimmt. Spektroskopisch (Time-resolved Laser Fluorescence Spectroscopy (TRLFS)) wurde der Einbau von Cm(III) verfolgt, und die Actinid-Kolloid-Bindungsstärke abgeschätzt. Dazu wurde die Zahl der Cm(III)-Koordinations-Wassermoleküle, die durch Si-Liganden ersetzt worden sind, ermittelt. Im hiesigen Berichtszeitraum wurden diese Untersuchungen durch zwei weiteren Methoden ergänzt. Zum einen wurde der Einbau von drei- und vierwertigen Actiniden in HAS mit der Röntgenfeinstrukturanalyse (EXAFS) untersucht. Zum anderen wurde die Ligandenkonkurrenz-Methode eingesetzt um zu prüfen, ob drei-, vier- und sechswertige Actinide entweder die Bindung mit HAS-Kolloiden oder die Bindung mit dem stark Actinid-komplexierendem Ligand EDTA bevorzugen. Mit letzterer Methode wurde ergänzend die Stabilität der Si-Al-Bindung in den HAS-Kolloiden selbst, den natürlichen Grundwasserkolloiden entsprechend, ebenfalls getestet.

Die EXAFS-Analysen an HAS-Proben, generiert bei pH 8 auf der Basis von Polysilanol, beweisen den vollständigen Einbau sowohl von drei- als auch von vierwertigen Actiniden in der Struktur von HAS. Diese Ergebnisse bestätigen die früheren Ergebnisse aus TRIFS-Untersuchungen an HAS gebundenem Cm(III) sowie aus Desorptionsexperimenten an HAS gebundenem Am(III) und Th(IV).

Die Desorptionsversuche von Kolloid-gebundenen Actiniden mit EDTA, durchgeführt an HAS-Kolloiden generiert bei pH 5 bzw. pH 7 bzw. pH 9, jeweils auf der Basis von Monosilanol bzw. Polysilanol zeigen, dass dreiwertige Actinide unter allen Bedingungen schnell mit EDTA komplexieren und auf dieser Weise von der kolloidalen HAS-Phase in der gelösten Phase überführt werden. Im Kontrast dazu steht das Verhalten der vier- und sechswertigen Actinide: Gebunden an HAS-Kolloiden aus Monosilanol werden die genannten Actinide nur sehr langsam mit EDTA desorbiert, insbesondere bei erhöhtem pH; gebunden an HAS-Kolloiden aus Polysilanol, zeigen vier- und sechswertige Actinide im untersuchten pH-Bereich absolute EDTA-Resistenz.

Die Versuche, die die Desorption von Al aus HAS-Kolloiden mit EDTA testen, zeigen, dass Al in HAS-Monosilanol EDTA-labil und Al in HAS-Polysilanol EDTA-resistent ist.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass HAS-Kolloide, generiert auf der Basis von Polysilanol extrem stabile Si-Al-Bindungen enthalten. In diesen Kolloiden können dreiwertige Actinide Al vollkommen ersetzen, sie gehen aber mit Si eine schwächere Bindung ein als Al. Es bedeutet weiter, dass vier- und sechswertige Actinide im Vergleich mit dreiwertigen Actiniden eine größere Affinität für HAS-Kolloide aufweisen. Die Hypothese, dass vier- und sechswertige Actinide als Ligande fungieren und sogar Si in seiner stabilen Bindung mit Al innerhalb der HAS-Kolloide verdrängen können, wird aufgestellt und weiter geprüft.

## 2. Stabile Actinid-Eigenkolloide

Die Hypothese, dass eine heterogene Nukleation von Elementen unterschiedlicher Oxidationsstufe eine notwendige Voraussetzung für die Bildung bzw. Stabilisierung von anorganischen Kolloiden ist, wurde am Beispiel Eu(III)-Th(IV) mittels LIBD (Laser-induzierte Breakdown Detektion) untersucht. Dazu wurden ultrareine Systeme entwickelt um den Einfluss von Verunreinigungen, die überall in Konzentrationen, vergleichbar mit den geringen Löslichkeitskonzentrationen der Actinide vorhanden sind und deshalb den Nachweis der Hypothese stören würden, auszuschalten.

Die Hypothese wurde in mehreren LIBD-Experimenten einwandfrei bestätigt: Im „reinen“ System bilden weder Th allein, noch Eu allein stabile Eigenkolloide. Die Mischung von Eu und Th jedoch erzeugt, in Analogie mit Aluminosilicat-Kolloiden, stabile „Europiothoronat-Kolloide“.

## **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 den im Wasser stets vorhandenen Elementen (Kationen, anionische Liganden) sowie von organischen Bestandteilen wird mit einbezogen.

### 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 angesetzt. 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**

Siehe Interner Bericht PTE Nr. 27

(Ausführliche Liste der Veröffentlichungen über TU München, Fr. Dr. Maria-Anna Kim erhältlich)

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9773</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2003 bis 30.06.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.015.143,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> 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 4 Tonproben aus Bure und 2 Tonproben aus Mont Terri wurden einaxiale Kriechversuche bei unterschiedlichen Temperaturen von 24 bis 60°C und niedrigen Axialbelastungen von 0.7 bis 1 MPa durchgeführt. Bei hohen Temperaturen kriechen die Tonproben deutlich schneller. Bei Entsättigung wurde eine deutliche Schrumpfung des Tonsteins beobachtet. Der thermische Ausdehnungskoeffizient des Opalinuston wurde gemessen. Der senkrecht zur Schichtung ermittelte Wert von  $\alpha_{\perp}=1.6 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$  ist eine Größenordnung höher als der parallel zur Schichtung gemessene Wert von  $\alpha_{\parallel}=1.5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ , was auf eine signifikante Anisotropie hin weist. In THM-Triaxialversuchen wurden deutliche THM-Wechselwirkungen im Tonstein beobachtet. Die große MTS-Prüfanlage der GRS wurde mit einem Aufheizsystem für weitere THM-Untersuchungen an Großenkernen versehen und kalibriert.

In-Situ-Messungen: In der 2. Aufheizphase (Beginn Juni 2004) wurde die Heizleistung von 650 auf 1950 Watt gesteigert. Dabei wurden die Auswirkungen der verstärkten Aufheizung auf den Porenwasserdruck und die Temperaturen im Gebirge mittels der von GRS entwickelten Minipacker-Messsysteme in unterschiedlicher Entfernung zum Erhitzer erfasst. In nächster Umgebung zum Erhitzer stieg der Porenwasserdruck auf maximal 4.0 MPa und die Gebirgstemperatur auf maximal 50 °C an. Nach Erreichen des Maximums fiel der Druck bei noch steigender Temperatur allmählich ab. Einzelne Unterschiede in der Entwicklung werden auf die natürlich ausgebildete Gebirgsfazies (Schichtung) zurückgeführt.

In den Messintervallen zur Ermittlung der Gasfreisetzung, Gaspermeabilität und Gasdiffusion steigen infolge Gebirgskonvergenz, Wasserfreisetzung und Gasfreisetzung die Drucke noch kontinuierlich an. Zwei Messintervalle wurden mit einem Prüfgas beaufschlagt, um am Ende der Heizphase aus der Konzentrationsabnahme die Gasdiffusion zu ermitteln. Sobald sich in den zentralen Messintervallen stabile Drucke eingestellt haben, soll mit den Permeabilitätsmessungen begonnen werden.

Modellrechnungen: Zur Interpretation der bislang im In-situ-Aufheizversuch gewonnenen Messergebnisse wurden gekoppelte THM-Modellrechnungen mit CODE-BRIGHT durchgeführt. Die Modellergebnisse stimmen mit den Messungen von Temperatur, Porenwasserdruck und Verformung an den über 50 Messstellen zufrieden stellend überein.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- (a) Durchführung der THM-Versuche an Großproben
- (b) Fortführung der In-situ-Messungen von Porenwasserdruck, Temperatur, Gasdruck und Permeabilität
- (c) Weitere Modellrechnungen für das TER-MOCK-UP-Experiment

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Zhang C.-L., Rothfuchs, T. (2004): Thermo-Hydro-Mechanical Behaviour of Indurated Clays. Poster-Präsentation in EUROS SAFE 2004, Berlin.

HE-D Interim Synthesis Report (2004): GRS contributions: 1) measurements of temperature, pore water pressure and gas migration; 2) results of laboratory experiments and 3) THM-calculations of the HE-D experiment.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9783</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2003 bis 31.12.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 475.000,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Brewitz	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Aufgrund des breit angelegten Ansatzes und seiner übergreifenden Zielsetzung berührt das Vorhaben alle Themenbereiche des 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 (2. Halbjahr 2004) wurden neben weiteren technischen Arbeiten insbesondere Teilleistungen aus AP2 (Erarbeitung von Einzelbeiträgen und Hauptkapiteln) erbracht. Zu den Teilkapiteln „Langzeitsicherheitsbezogene Anforderungen“, „Potenzielle Wirtsgesteine“, „Felduntersuchungen“, „Untertagelabors“, „Wirtsgesteine als Teil des Mehrbarrierenkonzeptes“, „Endlagerstandorte“, „Berg- und Bautechnik“, „Verfüll- und Verschlussmaßnahmen“, „Rückholbarkeit der Abfälle“, „Gebirgsverhalten“, „Wechselwirkungen Wirtsgestein-Abfälle“ sowie „Natürliche Analoga“ liegen derzeit etwa 40 Einzelbeiträge als erste Textentwürfe vor, die mit BMWA sowie PtWT+E diskutiert worden sind. Zum Kapitel 8 (Sicherheitsrelevante Gesteins-/ Formationseigenschaften) wurde zusammen mit dem Öko-Institut eine Detailgliederung mit Festlegung der zu behandelnden Stichworte erarbeitet. Sämtliche Dokumente (incl. einer Arbeitsanweisung) sind auf einer gemeinsam zu nutzenden QuickPlace-Kommunikations-Plattform eingestellt. Zur Verwaltung der Handbuchspezifischen Literatur-Zitate wurde das ausgewählte Literatur-Datenbankprogramm in Betrieb genommen. Darüber hinaus wurden weitere Kontakte zu externen Fachleuten aufgenommen, die im Rahmen des Vorhabens unterstützend mitwirken sollen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die weiteren Arbeiten erfolgen i. W. im Rahmen der Arbeitspakete 1 und 2. Für das 1. Halbjahr 2005 sind insbesondere weitere Textbeiträge zu folgenden Teilkapiteln vorgesehen:

- 6 Wirtsgesteine
  - 6.4 Laboruntersuchungen zur Gesteinscharakterisierung
  - 6.5 Felduntersuchungen
- 7 Zu Planung, Bau, Betrieb und Verschluss von geologischen Endlagern
  - 7.3 Wasserhaltung und Wettertechnik
- 8 Sicherheitsrelevante Gesteins-/Formationseigenschaften
  - 8.4 Gebirgsverhalten
  - 8.5 Wechselwirkung Wirtsgestein-Abfälle
  - 8.6 Radionuklidtransport mit dem Grundwasser
- 9 Sicherheitsnachweise für geologische Endlager
  - 9.1 Sicherheitsnachweis
  - 9.2 Szenarien mit Einfluss auf die Endlagersicherheit
  - 9.5 Natürliche Analoga

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Elisabethenstraße 55-57, 64283 Darmstadt		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9793</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2003 bis 31.12.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 475.000,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Sailer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

Aufgrund des breit angelegten Ansatzes und seiner übergreifenden Zielsetzung berührt das Vorhaben alle Themenbereiche des 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 zweiten Halbjahr des Jahres 2004 wurden hauptsächlich Teilleistungen aus AP2 erbracht. Es wurden Textentwürfe der Kapitel 3.1, 3.3, 4.3, 7.1 und 7.6 erstellt, die in einer Sitzung mit allen Beteiligten am 5.10.04 teilweise vorgestellt und besprochen wurden. Der überwiegende Teil der Dokumente ist über die gemeinsam genutzte Kommunikations-Plattform "Quick-Place" einzusehen. Außerdem wurden die Literaturrecherche zu sämtlichen Kapiteln fortgeführt und weitere Begriffe in die Glossar-Datenbank eingefügt. Vom 13. bis 14.12.04 fand ein Abstimmungsgespräch mit der GRS in Braunschweig zur Erstellung einer Detailgliederung des Kapitels 8 statt. Außerdem wurden organisatorische Aspekte besprochen und gemeinsame Literaturrecherche betrieben.

Externe Fachleute sollen bei der Bearbeitung und Qualitätssicherung der einzelnen Kapitel unterstützen. Derzeit laufen konkrete Verhandlungen darüber zu Kapitel 7.4 mit der DBE Technology GmbH in Peine.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Es ist vorgesehen, im ersten Quartal 2005 die Textversionen für die Kapitel 2.3, 4.1, 4.2, 8.3, 8.5.4, 9.2.2, 9.3.4 und 9.3.5 fertig zu stellen. Auch an den übrigen Kapiteln soll kontinuierlich weitergearbeitet werden. Im zweiten Quartal 2005 soll mit der Erstellung der noch nicht bearbeiteten Kapitel begonnen werden. Außerdem sollen die verwendeten Literaturangaben in die Literaturdatenbank sowie weitere Begriffe in die Glossar-Datenbank eingefügt werden.

Hinsichtlich der Unterstützung durch externe Fachleute ist ein Besprechungstermin am 25.01.05 mit der Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe in Hannover vorgesehen. Weitere externe Fachleute sollen ebenfalls angesprochen werden.

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9803</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2003 bis 31.10.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 691.684,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Curtius	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Unser Projekt soll dazu beitragen, a.) das Korrosionsverhalten verschiedener FR-BE-Typen in unterschiedlichen aquatischen Phasen zu beschreiben b.) die Remobilisierung der an den Korrosionsprodukten gebundenen Radionuklide zu untersuchen und c.) die Eignung der Hydrotalkite (nachgewiesene Phasenbestandteile der Korrosionsprodukte von unbestrahlten metallischen Uran/Aluminium-FR-BE) hinsichtlich der Rückhaltung von mobilen Radionukliden zu prüfen.

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP2: Remobilisierung von Radionukliden aus Korrosionsrückständen

AP3: Sorptions- und Inkorporationsuntersuchungen mit endlagerrelevanten Radionukliden an Hydrotalkiten

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Erste Ergebnisse aus Auslaugversuchen mit unbestrahlten U/Al- und  $U_3Si_2$ -Brennelementen in  $MgCl_2$ -reicher Salzlauge und in Tonporenwasser (Mont-Terri Typ) zeigen, dass der  $U_3Si_2$ -Brennelementtyp höhere Korrosionsraten in beiden Medien während der ersten 100 Tagen aufweist.  
Der Transport bestrahlter  $U_3Si_2$ -Brennelemente wird wahrscheinlich im ersten Quartal 2005 erfolgen.
- AP2: Bisherige Ergebnisse zeigen, dass durch Verdünnung und durch Variation der Ionenstärke der umgebenen Salzlauge Cs und Sr quantitativ aus den sekundären Phasen remobilisiert werden, Pu aber immobilisiert bleibt.
- AP3: Neben Technetat wurde die Rückhaltekapazität für Iodid getestet. Sowohl Iodid als auch Technetat werden durch Ionenaustauschreaktionen bis zu einem gewissen Anteil gebunden. In Gegenwart von Chlorid besitzt der untersuchte Mg-Al-Cl-Hydrotalkit keine Rückhaltekapazität für Iodid und Technetate mehr.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Nach erfolgter Lieferung werden die bestrahlten  $U_3Si_2$ -Brennstoffplatten in entsprechende Probeplättchen geschnitten und Gamma-spektrometrisch vermessen. Anschließend beginnen die Auslaugversuche in den Heißen Zellen in Salzlauge, in Tonporenwasser (Mont-Terri Typ) und in Granitwasser (Äspö).  
Die Auslaugversuche mit dem unbestrahlten U/Al- und  $U_3Si_2$ -Brennstoff werden weitergeführt.
- AP2: Weitere Probenahmen und Klärung der Mobilisierung weiterer Radionuklide.
- AP 3: Die Sorptionsuntersuchungen werden auf weitere endlagerrelevante Radionuklide ausgedehnt. Zudem soll mit dem Aufbau geeigneter Versuchsaapparaturen, um Inkorporationsuntersuchungen durchführen zu können, begonnen werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Eingereicht und angenommen:

H. Curtius, H. Brücher: R&D for the final disposal of irradiated research reactor fuel elements, RRFM 05, Budapest, April 2005

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9813</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2003 bis 31.01.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 813.232,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Rübel	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

## 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 (02E 9511) und GENESIS (02E 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 Radionuklidtransportermittelt werden.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Die Weiterentwicklung des Moduls GRAPOS zu dem neuen Modul CLAYPOS wurde begonnen. Die Entwicklung der ersten Teilaufgabe zur Berechnung radialsymmetrischer Geometrien wurde in einer ersten Version fertig gestellt. Die Erweiterung des Programmcodes zur Berechnung ebener Geometrien wurde begonnen.

Die Weiterentwicklung der Module CHETMAD und CHETMADCOL wurde abgeschlossen. Damit können beide Module in der neuen Version sowohl elementspezifische Porositäten wie auch elementspezifische Diffusionskoeffizienten verarbeiten. Bei der Weiterentwicklung wurde insbesondere auf Abwärtskompatibilität geachtet, so dass auch Datenfiles für die Vorgängerversionen beider Programme verarbeitet werden können. Dadurch müssen die alten Programmversionen nicht weiter gepflegt werden.

Der Vertrag mit dem Steinbeis Institut zur Weiterentwicklung von  $r^3t$  wurde abgeschlossen. Es wurde ein Konzept zur Behandlung der anisotropen Diffusion mit  $r^3t$  entworfen und die notwendigen Übergabedatenformate definiert. Die Entwicklungsarbeiten zur Erweiterung von  $r^3t$  zur Berechnung der anisotropen Diffusion wurden begonnen.

Weiterhin wurde mit der Erarbeitung eines konzeptuellen Modells zur Erweiterung von  $r^3t$  mit einer Schnittstelle zum Programm PHREEQC begonnen.

AP 2: Für das Modul CLAYPOS wurden erste Vergleichsrechnungen zur Überprüfung der Entwicklungsarbeiten durchgeführt. Dabei wurde CLAYPOS bei radialer Symmetrie für konstante Randkonzentrationen mit Ergebnissen aus dem Programm MathCad verglichen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Fertigstellung der Entwicklungsarbeiten am Modul CLAYPOS.

Im nächsten Schritt muss die Berechnung des Transports für ebene Geometrien fertig gestellt werden. Weiterhin soll das Programm dahingehend erweitert werden, so dass in Zukunft zwei unterschiedliche Materialien (Bentonit und Wirtsgestein) über den Transportweg verwendet werden können.

AP2: Durchführung eines Vergleichs des fertig gestellten Codes CLAYPOS mit analytischen Lösungen und handelsüblicher numerischer Software (MATLAB oder MathCad).

Beginn der Zusammenstellung von Daten zur Simulation natürlicher Isotopen Profile am Standort Mont Terri und von Daten aus In-situ-Diffusionsexperimenten ebenfalls am Mont Terri.

AP3: Teilnahme mit Vortrag am GEIST Workshop der DBE in Peine im Januar 2005.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9824</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 30.06.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 191.444,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Jockwer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Forschungsbergwerk Asse sollen im Salzgestein, das für die Endlagerung radioaktiver Abfälle repräsentative ist, um Hohlräume unterschiedlichen Alters (neu angelegt, etwa zwei bis fünf Jahre alt, etwa 20 Jahre alt) in Abhängigkeit von der Stoßentfernung der advektive und diffusive Gastransport, der advektive Laugentransport und der Grad der Auflockerung und deren Anisotropie ermittelt werden. 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.

Im Vorhaben ALOHA/BAMBUS II wurde ein neues Messverfahren entwickelt und erfolgreich getestet, um in Stoßnähe die Ausdehnung der Auflockerungszone und deren hydraulische Parameter für Gase und Laugen zu bestimmen. Dieses Verfahren soll angewandt und gegebenenfalls weiterentwickelt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben untergliedert sich in:

- 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

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

Im Forschungsbergwerk Asse ist vom Betrieb ein Versuchsort auf der 800 m Sohle mit drei Messplätzen zur Bestimmung der Parameter des advektiven und diffusiven Flusses auf einer frisch nach geschnittenen, einer ca. zwei Jahre alten und einer ca. 17 Jahre alten Sohle hergerichtet worden.

Der erste Messplatz auf der um 1 m vertieften Sohle ist installiert und die Messungen sind begonnen worden. Gasinjektionstests mit Maximaldrücken von 1 MPa in Tiefen zwischen 0.1 und 0.7 m wurden durchgeführt, müssen aber noch genauer ausgewertet werden. Es lässt sich jedoch bereits aussagen, dass sich in zwei Monaten nach Eintiefen der Sohle noch keine neue Auflockerungszone ausgebildet hat.

Zur Ermittlung des diffusiven Gasflusses sind in die Bohrungen unterschiedlicher Tiefe Tracergase injiziert worden. Messungen hierzu sollen im Februar 2005 durchgeführt werden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Durchführung der Messungen zur Ermittlung des diffusiven Gasflusses und advektiven Laugenflusses am ersten Messplatz.

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

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9834</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen - LUVEAT			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 216.140,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Zhang	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Im Rahmen des EU-Projektes NF-PRO wird die GRS in Abstimmung mit den Projektpartnern ein Arbeitsprogramm in der großen MTS-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

Zur Untersuchungen der Entwicklung und Verheilung der Auflockerungszone (ALZ) in Tonstein wurden vier ALZ-Heilungsversuche an Tonproben (D/H=75/75mm) aus Bure aufgenommen. Zunächst wurden drei Proben bei einem Manteldruck von 3 MPa senkrecht zur Schichtung bis zur maximalen Festigkeit belastet und geschädigt, während eine weitere Probe als Referenzprobe ungestört bleibt. Anschließend wurde die Permeabilität der Proben mit befeuchteten Stickstoff unter hydrostatischer Belastung gemessen. Zwei geschädigte Proben zeigten relativ hohe Permeabilitäten von  $4 \cdot 10^{-16}$  -  $9 \cdot 10^{-17}$  m<sup>2</sup> bei einem Außendruck von 1 MPa, während sowohl bei der intakten Probe als auch bei einer geschädigten Probe eine niedrigere Permeabilität von  $3 \cdot 10^{-20}$  m<sup>2</sup> gemessen wurde. Bei Erhöhung des Außendrucks von 1 MPa auf 1.5 MPa reduzierte sich die Permeabilität um einen Faktor 2 – 4. Unter einem konstanten Außendruck nahm die Permeabilität mit der Zeit allmählich ab, was auf einen Heilungsprozess im geschädigten Tonstein hin deutet. In einer weiteren Phase wird Formationswasser zur Bestimmung der Wasserpermeabilität in die Proben injiziert werden.

Zur Planung des vorgesehenen ALZ-Heilungsversuches an einem großen Tonkern werden gekoppelte HM-Modellrechnungen mit Hilfe des Programms CODE-BRIGHT durchgeführt. Dazu wurden notwendige Stoffparameter anhand einer Literaturstudie und der bereits gewonnenen Versuchsergebnisse an Opalinustonproben ermittelt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der ALZ-Heilungsversuche
- Durchführung der Vorversuche an gelochten Tonkernen mit den Abmessungen D/d/L = 100/20/200 mm
- Modellrechnungen für Planung des großen ALZ-Heilungsversuches
- Vorbereitung und Durchführung des großen ALZ-Heilungsversuches

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9844</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 139.100,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Becker	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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 Erstellung 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, Planung der Modellrechnungen sowie die Planung und Durchführung eines Workshops zum Gesamtprojekt, in dessen Rahmen Erfahrungen zwischen den Projektkomponenten ausgetauscht wurden.

Von Seiten der GRS wurde im Berichtszeitraum ein Entwurf des Konzeptberichts zur Salzformation erstellt. Dieser Bericht bedarf noch einer Überarbeitung auf der Basis einer Abstimmung mit anderen am Projekt beteiligten Organisationen, die Arbeiten zum Thema „Salz“ ausführen. Die von der GRS durchzuführenden Modellrechnungen wurden geplant und vorbereitet. Es wurden einige wichtig erscheinende Nahfeldprozesse identifiziert. Dazu gehören:

- Wassertransport im Nahfeld,
- Wasserverbrauch durch Korrosion,
- Volumenzunahme durch Korrosion,
- Gaserzeugung durch Korrosion und Druckaufbau im Nahfeld.

GRS wird Abschätzungen und Modellrechnungen zu diesen Prozessen für die Einlagerungskonzepte

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

durchführen. Dazu wurde ein „Calculation Plan“ erstellt.

Zum Gedankenaustausch im Gesamtprojekt hat die GRS durch Teilnahme am Projektworkshop im November 2004 beigetragen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Überarbeitung und Fertigstellung des zusammenfassenden Konzeptberichts zum Stand von Wissenschaft und Technik bei der modelltechnischen Behandlung des Nahbereichs eines Endlagers mit abgebrannten Brennelementen in Stahlbehältern in einer Salzformation.

Durchführung von Bilanzabschätzungen zu den genannten Nahfeldprozessen.

Erarbeitung eines einfachen gekoppelten numerischen Modells, mit dem Wechselwirkungen zwischen den Effektbereichen in vereinfachter Form nachvollzogen werden können.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9854</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1)			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.02.2004 bis 31.12.2008		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.02.2004 bis 30.06.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.799.659,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Filbert	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

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

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

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

**AP4: Ausführungsplanung:** Das in der Konzeptplanung entwickelte und ausgewählte Gesamtsystem zur Einlagerung von 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

Im Rahmen des Arbeitspaketes 1 wurde der Berichtsentwurf zu den Grundlagen und Anforderungen an das Gesamtsystem nach Ergänzung der Grundlagen und Anforderungen zur französischen Endlagertechnik in Ton durch ANDRA/Frankreich den durch die Projektleitung im IP ESDRED beauftragten externen Fachleuten zur Begutachtung zur Verfügung gestellt. Erläuterungswünsche der Fachleute wurde nachgekommen und wo notwendig, Ergänzungen im Bericht vorgenommen. Der Bericht wurde sowohl der EU-Kommission als auch dem Projektträger zur Verfügung gestellt.

Die Konzeptplanung für eine den Endlageranforderungen gerecht werdenden Bohrtechnik, unter Berücksichtigung von vorlaufenden Kernbohrungen falls notwendig, wurde durchgeführt. Die Schnittstelle Bohrlochkeller zur Einlagerungstechnik wurde grob ausgelegt und die weitere Nutzbarkeit zum Einbau des Bohrlochschiebers der Schleuse festgestellt. Die Bohrtechnik wurde konzeptionell mit den Merkmalen, Lufthebeverfahren für Bohrklein, Vorbohren unter Preventerschutz und Aufbohren ohne Preventerschutz entwickelt.

Mit der Untersuchung der zu erwartenden Einwirkungen des Gebirges auf die Brennstabkockille im angestrebten Einlagerungshorizont wurde begonnen.

Der Vergleich zweier konkurrierender Konzepte, die sich in der Einlagerungstechnologie und in der Art und Anzahl der erforderlichen Komponenten unterscheiden, wurde mit einer Bewertung in den Hauptkriterienfelder Sicherheitstechnik, Handhabung, Technik und Wirtschaftlichkeit abgeschlossen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Untersuchung der zu erwartenden Einwirkungen des Gebirges auf die Brennstabkockille im angestrebten Einlagerungshorizont wird abgeschlossen. Ebenso wird die Konzeptplanung zum internen Transferbehälter und für die Brennstabkockille 3 beendet. Auf der Basis der Ergebnisse erfolgt die Bearbeitung der Ausschreibungsunterlagen zur Unterstützung der Konzept- und Entwurfsplanungen für den internen Transferbehälter, die Bohrlochschleuse und die Einlagerungsvorrichtung in Bohrlöchern. Der Bericht zur Konzeptplanung wird fertig gestellt, durch unabhängige Experten geprüft und der EU Kommission und dem Projektträger PtWT+E übersandt.

Die Bearbeitung des AP3 „Entwurfsplanung“ wird aufgenommen und die Bearbeitung des AP2 „Konzeptplanung“ mit der Konzeption der weiteren Komponenten und der Aufstellung eines Versuchsprogramms fortgeführt .

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> BUTEC Umwelttechnik GmbH, Kölner Straße 6, 65760 Eschborn		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9864</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> 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> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 30.06.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 55.680,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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**

- Umbau und Anpassung der Versuchseinrichtung an die Geometrie der Tonsteinproben
- Durchführung der ersten Versuchsreihen mit Stickstoff als Messfluid mit Tonproben im Originalzustand und mit getrockneten Tonsteinproben
- Durchführung eines Versuches mit Isooctan als Messfluid
- Bestimmung der zugänglichen Porosität der mit Isooctan vermessenen Tonprobe
- Teilnahme am NFPR-WP4.4 / 1. coordination meeting
- Beschaffung von Formationswasser aus Mont Terri
- Erstellung des ersten Interim Report (RTDC 4-WP4.4-Task 4)

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Beginn der Untersuchungen mit Formationswasser als Messfluid bei Raumtemperatur und Temperaturen bis 95 °C
- Erstellung Endbericht

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 E 9874</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2007		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 81.058,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Popp

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1: Koordination der experimentellen Arbeiten und Probenahme.

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

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

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

AP 5: Untersuchungen in der Triaxialapparatur bei erhöhten Manteldrücken.

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

AP 7: Umsetzung der gebirgsmechanischen Parameter in Modellrechnungen.

AP 8: Zusammenstellung der Ergebnisse und Berichtserstellung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP 2: Erarbeitung und Darstellung des aktuellen Literaturkenntnisstandes bezüglich des gesteinsmechanischen Verhaltens von Tongesteinen. Erarbeitung eines State-of-the-Art-Berichtes.
- AP 3: Gesteinsphysikalische Charakterisierung des vorliegenden Probenmaterials.  
Zur Beschreibung der seismischen und mechanischen Anisotropie in Abhängigkeit von der Verformung sowie zur Detektion einer spannungsinduzierten Rissbildung sind insgesamt 11 Verformungsversuche an Opalinuston ausgewertet worden, die in der echt-dreiaxialen Verformungsapparatur in Kiel an orientierten Würfelprouben bei radialen Druckeinspannungen zwischen 7,5 und 50 MPa mit gleichzeitiger Durchschallung in den drei Raumrichtungen durchgeführt wurden. Danach kommt es mit zunehmender Verformung im Anschluss an eine initiale Kompaktionsphase zu einer richtungsabhängigen Abnahme von  $V_p$  und  $V_s$ , die als einsetzende Rissbildung gedeutet wird obwohl sie mittels einer Probenvolumenmessung aufgrund der Überlagerung durch die Kompaktion der Schichtflächen nicht detektiert werden kann. Die spannungsabhängige Inversion von  $V_p$  und  $V_s$  wurde zur Ableitung entsprechen der Dilatanzkriterien genutzt.
- AP 4: Bau von Stempelsätzen für die simultane Durchströmung und Durchschallung in axialer Richtung unter der Triaxialpresse.
- AP 6: Durchführung erster Verformungsversuche im direkten Schergerät zur Bestimmung der Mohr-Coulomb Scherparameter

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP 4: Abschluss des Umbaus und Erweiterung der bestehenden Prüfeinrichtungen auf die Anforderungen von Tongesteinen.
- AP 5: Durchführung von Untersuchungen in der Triaxialapparatur bei erhöhten Manteldrücken.
- AP 6: Weiterführung der Verformungsversuche im direkten Schergerät zur Bestimmung der Mohr-Coulomb Scherparameter.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

T. Popp, K. Salzer (2004): Influence of Bedding Planes. 1. State of the Art Report and 2. Test plan (D4.2.2.1.1). NF-PRO RTD4, WP 4.2 (EDZ Initial phase characterisation and modelling). Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, 31 December, 2004.

T. Popp, K. Salzer (2005): Influence of Bedding Planes. 1. Report: Triaxial deformation tests in a multi-anvil apparatus with ultrasonic monitoring. 2. Milestones: Sampling and rock preparation; adaptation of laboratory techniques (D4.2.2.1.5). NF-PRO RTD4, WP 4.2 (EDZ Initial phase characterisation and modeling). Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, 15 January, 2005.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9884</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 546.245,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Meyer

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Die BENKOR-Arbeiten sind gleichzeitig auch integraler Bestandteil des NF-PRO-Vorhabens FIW-CT-2003-02389 „Understanding and physical and numerical modelling of the key processes in the near-field, and their coupling, for different host rocks and repository strategies. In NF-PRO finden sich die BENKOR-Arbeiten im RTD Component 2: “Chemical evolution of the EBS“ in den Arbeitspaketen WP2.2: “Evolution of pore water chemistry and effect of salt in the bentonite buffer during saturation“ und WP 2.4: “Effects of concrete degradation (high salinity) on bentonite and geochemical condition in the near field“.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

chencodes EQ3/6 modelliert. Benkor-**AP1** entspricht dem NF-PRO WP 2.2. **AP2** entspricht WP2.4.

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

Der Bentonit MX-80 wurde mit Na belegt und die vorgesehenen Reaktionslösungen, IP21, NaCl, Äspö, Bure-Porenwasser, ein Zementporenwasser sowie Reaktionslösungen NaCl/Zement und IP21/Zement wurden hergestellt. Alle Versuche wurden mit diesen sieben hochmineralisierten Lösungen sowie zum Vergleich auch mit reinem Wasser angesetzt. Alle Versuche, sowohl die Batch-Versuche mit Lösungsüberschuss, als auch die Versuche mit kompaktiertem Bentonit wurden angesetzt und laufen. Im Dezember 2004 wurden detaillierte Fortschrittsberichte für NF-Pro zu den WP 2.2 und WP2.4 erstellt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Null-Proben, d.h. MX-80-Proben aus allen Batch und allen kompaktierten Proben nach ca. einer Woche Reaktionszeit, werden zur Zeit untersucht und mit dem unreaktierten MX-80-Ausgangsmaterial verglichen. Gemessen wird dabei sowohl die Lösungszusammensetzung als auch die mineralogische Zusammensetzung des MX-80.

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

Im Dezember 2004 wurden detaillierte Fortschrittsberichte für NF-Pro zu den WP 2.2 und WP2.4 erstellt, die für NF-Pro-Teilnehmer im Internet unter [http://project.nf-pro.org/management/reports/input/periodic\\_activity\\_reports/wp\\_input\\_review\\_at\\_12m\\_reporting\\_point](http://project.nf-pro.org/management/reports/input/periodic_activity_reports/wp_input_review_at_12m_reporting_point) nachzulesen sind.

Ein Beitrag zum NF-PRO-State of the Art Report zum RTD component 2 wurde fertig gestellt und von einem internationalen Team gereviewt. Er stellt den Wissensstand zu EBS-Materialien zusammen, die für den Einsatz in Salzformationen in Deutschland im Gespräch sind. Die Ergebnisse wurden auf einem Projektmeeting im Dezember 2004 in Escorial/Spanien vorgestellt. Auch dieser Bericht ist im Internet veröffentlicht.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9894</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor - Hauptprojekt		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.311.986,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Rothfuchs	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Für die Optimierung der Verschlusskörper werden das Aufsättigungsverhalten, die sich einstellenden Quelldrücke, die Gasdurchbruchdrücke 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 Gasdurchbruchdrücke im wassergesättigten Zustand und die Zweiphasenflussparameter in Wechselwirkung mit dem umgebenden Gebirge untersucht. Zum Test der Einbring- und Verdichtstechniken werden in einem Technikum in Braunschweig entsprechende Vorversuche durchgeführt.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die zur Auswahl geeigneter Materialmischungen durchgeführten Laboruntersuchungen wurden abgeschlossen. Sowohl die Ton/Sand-Mischungen 35/65 als auch 50/50 erfüllen die Auswahlkriterien.

In Ergänzung vorlaufender Aufsättigungsversuche wurden weitere Wasserinjektionsversuche an 35/65er und 50/50er-Proben bei einem Injektionsdruck von 0,5 MPa vorgenommen. Mit den ausstehenden Untersuchungen zum Zweiphasenflussverhalten der ausgewählten Mischungen wurde begonnen. Zur Ermittlung der größten Einbaudichte unter Verwendung eines Rüttlers erfolgten Versuche mit drei unterschiedlichen Rüttlergewichten. Ein 1. Technikumsversuch mit einer 35/65er-Mischung wurde aufgebaut, die Gaspermeabilität bestimmt, und es wurde mit Aufsättigungsversuchen begonnen.

Die Untersuchungen der Aufsättigung 35/65er- und 50/50er-Proben wurden für unterschiedliche Messzeiträume von bis zu 8 Tagen durchgeführt und die Feuchteverteilung bestimmt. Im Vergleich zu bereits früher beschriebenen Versuchen ohne zusätzliche Druckaufgabe schritt die Sättigung deutlich schneller voran.

Die Untersuchungen zum Zweiphasenflussverhalten wurden mit der Ermittlung der initialen Gaspermeabilitäten gestartet. Die Ergebnisse mit Permeabilitäten von ca.  $8,7E-14 \text{ m}^2$  und  $6,34E-14 \text{ m}^2$  für die 35/65er-Proben sowie  $7,7E-14 \text{ m}^2$  und  $7,6E-14 \text{ m}^2$  für die 50/50er-Proben bestätigen weitestgehend die bisher ermittelten Permeabilitätswerte für Gas.

Die Rüttelversuche mit verschiedenen Gewichten wurden an 35/65er- und 50/50er-Schüttungen in den für die Technikumsversuche vorgesehenen Stahlrohren vorgenommen. Es zeigte sich, dass die Einbaudichten unter Verwendung höherer Rüttlergewichte etwas niedriger ausfiel. Die im Stahlrohr ermittelten Einbaudichten waren z.B. bei der 35/65er-Mischung bei gleichen Einbaumassen beim kleinsten Rüttlergewicht um ca. 6 % höher. Die im Stahlrohr erzielte Einbaudichte für die untersuchte 35/65er-Mischung von ca.  $1,79 \text{ g/cm}^3$  deckt sich sehr gut mit der im 1. Technikumsversuch erreichten Einbaudichte von ca.  $1,78 \text{ g/cm}^3$ . Im Vergleich dazu ergab ein in situ im Mt. Terri Untertagelabor in einem Bohrloch von ca. 30 cm Durchmesser durchgeführter Verdichtungsversuch an einer 35/65er-Mischung wiederum eine geringfügig niedrigere Einbaudichte von ca.  $1,72 \text{ g/cm}^3$ . Möglicherweise sind die Abweichungen auf die unterschiedlichen Rauigkeiten der Wandungen zurückzuführen.

Die im 1. Technikumsversuch ermittelte Gaspermeabilität ergab sich zu  $6,54E-14 \text{ m}^2$  und stimmt sehr gut mit den im Labormaßstab bestimmten Werten überein. Die Aufsättigungsversuche mit der Injektion synthetischer Opalinus Lösung werden fortgesetzt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Planung der Versuchsfelderstellung im Mt. Terri Untertagelabor
- Abschluss der ausstehenden Untersuchungen zur Bestimmung der Kapillardruck- und der relativen Permeabilitätskurven für Gas an den ausgewählten Materialmischungen
- Weiterführung der Technikumsversuche
- Beginn des Versuchsaufbaus im Mt. Terri Untertagelabor

### 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-XXX, im Druck

<b>Auftragnehmer:</b> IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 E 9904</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 98.531,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Salzer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP 2: Untersuchungen in der Triaxialapparatur bei erhöhtem Manteldruck.

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

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

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

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

AP 7: Durchführung von Modellrechnungen zur Bewertung von Verfüllmaßnahmen.

AP 8: Zusammenstellung der Ergebnisse und Berichtserstellung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP 2: Durchführung von Triaxialversuchen an zylindrischen Prüfkörpern aus hochkompaktiertem Salzgrus. Erarbeitung eines Zwischenberichtes zu diesen Laborversuchen.
- AP 3: Durchführung von Scherversuchen zwischen Blöcken aus hochkompaktiertem Salzgrus bei wachsenden Normalspannungen. Erarbeitung eines Zwischenberichtes zu diesen Laborversuchen.
- AP 4: Durchführung von Scherversuchen zwischen Blöcken aus hochkompaktiertem Salzgrus und natürlich gewachsenem Steinsalz bei wachsenden Normalspannungen. Erarbeitung eines Zwischenberichtes zu diesen Laborversuchen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP 5: Durchführung der geplanten Langzeit-Kriechversuche mit verschiedenen Manteldrücken an zylindrischen Prüfkörpern aus hochkompaktiertem Salzgrus.
- AP 6: Beginn der Stoffgesetzauswahl zur Beschreibung des beobachteten Materialverhaltensverhaltens. Anpassung bekannter Stoffgesetze.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

J. L. García-Siñeriz, M.V. Villar, A. Gens, H.-J. Alheid, X. Zhang, J. Grupa, K. Salzer, P. Sellin, H. van Humbeek, A. Sneyers and F. Huertas. (2004): Understanding the physical and numerical modelling of the key processes in the near-field, and their coupling, for different host rocks and repository strategies. State of the art report (D3.1.1). NF-PRO RTDC3. 22 October, 2004.

H. Böhnelt, D. Brückner, D. Naumann, T. Popp, K. Salzer (2005): Investigation of the Mechanical Behaviour of Precompacted Crushed Salt in Contact to the Host Rock. Interims Report 1. Triaxial compression and permeability tests at different confining pressures on highly pre-compacted crushed salt samples including brine injection (D3.5.3) and 2. Shear-test at increasing normal pressures between highly pre-compacted crushed salt blocks including brine injection and shear-test at increasing normal pressures between highly pre-compacted crushed salt blocks and host rock (rock salt) including brine injection (D3.5.4). NF-PRO RTDC3. WP 3.5 (Crushed Salt Engineered Barrier Behaviour). Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, 3 January, 2005.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9914</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Goelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 30.11.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 120.732,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Rothfuchs	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Zur Bearbeitung spezieller Fragen bzgl. der Charakterisierung und Kurzzeitentwicklung der EDZ soll der Versuch mit einer weiteren Ent- und Wiederaufsättigungsphase weitergeführt werden. Folgende Fragestellungen sollen von den Projektpartnern im Rahmen des EU-Projektes NF-PRO bearbeitet werden: 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 hat sich bis Juni 2004 etwas verstärkt. Allerdings beschränkt sich dieser wieder aufgesättigte Bereich bisher auf den unmittelbaren Nahbereich des Mikrotunnels (ca. 10 cm), der tunnelfernere Bereich bis etwa 40 – 50 cm scheint noch deutlich entsättigt zu sein. Die Ventilationsanlage wurde inzwischen außer Betrieb gesetzt, die weitere Wiederaufsättigung soll durch Wasserumverteilung aus entfernteren Gebirgsbereichen erfolgen. Nach Modellrechnungen von DM Iberia würde eine fortgesetzte Ventilation mit feuchter Luft keinen Beitrag zur weiteren Aufsättigung liefern.

*Laboruntersuchungen:* Im ersten Screening-Test wurde eine gelochte Tonprobe ( $D/d/L = 100/10/100$  mm) unter einem Außendruck von 15 MPa mit trockener Luft von 15% relativer Feuchtigkeit entsättigt und mit feuchter Luft von 95% relativer Feuchtigkeit wieder aufgesättigt. Wie schon in anderen Versuchen wurde auch hierbei eine deutliche Schrumpfung des Tongesteins infolge der Entsättigung festgestellt. Der zweite Screening-Test wurde am Anfang Dezember gestartet, um das von GRS entwickelte Ventilationssystem zu testen und zu kalibrieren. Ergebnisse liegen z. Zt. noch nicht vor. Außerdem wurde die Beziehung zwischen Saugspannung und Wassergehalt für den Opalinuston durch Laborversuche an Kleinenproben bei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten ermittelt. Die Ergebnisse sind in guter Übereinstimmung mit vergleichbaren Daten der UPC Barcelona.

Die Planung der vorgesehenen Ventilationsversuche an großen Tonproben ( $D/d/L = 270/55/600$  mm) wird mit Modellrechnungen mit CODE-BRIGHT vorbereitet. Die hierfür erforderlichen Stoffparameter wurden durch eine Literaturstudie und aufgrund eigener Laborversuche vorläufig bestimmt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der geoelektrischen Feldmessungen und Berechnung der Widerstandstomogramme
- Durchführung von Screening Tests an kleineren Bohrkernen zur Vorbereitung des geplanten Ventilationsversuches an großen Bohrkernen

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14415 Potsdam		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9924</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Huminstoff-Metall-Komplexierung (Teil Antrag im Verbund „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 31.03.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 211.563,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Löhmannsröben/Dr. Kumke	

## 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) Die spektroskopische Charakterisierung der Proben Aldrich HS, Gohy573 FA, Gohy573 HA, M1 und M42 bei pH 5 ( $I = 10^{-2}$  M) ist abgeschlossen. Die Experimente zur Löschung der intrinsischen HS-Fluoreszenz durch  $Dy^{3+}$ ,  $Eu^{3+}$ ,  $Gd^{3+}$ ,  $La^{3+}$ ,  $Nd^{3+}$  und  $Tb^{3+}$  sind abgeschlossen. Die Daten zeigen erwartungsgemäß, dass 1) die konditionellen Bindungskonstanten der untersuchten Lanthanoide sehr ähnlich sind ( $HS = \text{const.}$ ) und 2) mit der untersuchten HS variieren ( $Ln^{3+} = \text{const.}$ ). Für die Lanthanoid-Ionen  $Eu^{3+}$  und  $Tb^{3+}$  wurde parallel auch die sensibilisierte Lumineszenz zur Bestimmung von Bindungskonstanten ausgewertet. Die ersten Daten zeigen deutliche Unterschiede zu den Daten, die aus der intrinsischen HS-Fluoreszenzlöschung bestimmt wurden.

(AP2) Stationäre und zeitaufgelöste Lumineszenzuntersuchungen des Interlanthanid-Energietransfers mit den Donor-Akzeptor-Paaren  $Eu^{3+}/Nd^{3+}$  bzw.  $Tb^{3+}/Nd^{3+}$  werden mit den unter (AP1) genannten HS durchgeführt. Zur Auswertung der zeitaufgelösten Messungen wird ein Ansatz, der eine gedehnte Exponentialfunktion beinhaltet, verwendet und so dem komplexen Lumineszenzabklingverhalten der sensibilisierten  $Tb^{3+}$ -Lumineszenz Rechnung getragen.

Aus den bislang durchgeführten Experimenten in AP1 und AP2 zeigte sich, dass die HS-Probe Gohy573 FA eine Ausnahmestellung einnimmt in Bezug auf die Fluoreszenzeffizienz, das Ausmaß des Energierücktransfers zu komplexiertem  $Tb^{3+}$  und den beobachteten Interlanthanid-Energietransfer. Die anderen HS-Proben verhalten sich diesbezüglich relativ ähnlich, wobei  $M1 \sim M42 < Gohy579 HA \sim Aldrich HS$  gilt.

Die *stopped-flow*-Apparatur ist beschafft, aufgebaut und mit Standardproben getestet. Deshalb wurde abweichend vom Arbeitsplan schon mit den *stopped-flow*-Experimenten (AP3) begonnen. Aus organisatorischen Gründen werden deshalb die Untersuchungen zur Photodynamik (AP4) erst im zweiten Jahr der Projektlaufzeit begonnen werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Fluoreszenzlöschversuche mit Lanthanoid-Ionen sollen bei weitem pH-Werten und anderen Ionenstärken durchgeführt werden. Im Falle von  $Eu^{3+}$  und  $Tb^{3+}$  wird auch die sensibilisierte Lumineszenz der Lanthanoid-Ionen gemessen. Die Auswertung der Daten und die Bestimmung der Stabilitätskonstanten wird über verschiedene Modelle durchgeführt (AP1). Zusätzlich zu den Lanthanoid-Ionen  $Eu^{3+}$  und  $Tb^{3+}$  werden noch  $Dy^{3+}$ ,  $Gd^{3+}$ ,  $La^{3+}$  und  $Nd^{3+}$  in die Untersuchungen einbezogen, um den Einfluss von kleinen Unterschieden in den physiko-chemischen Eigenschaften der Lanthanoide zu überprüfen.

Im AP2 werden die Experimente zum Interlanthanid-Energietransfer mit der kompletten Palette der HS-Proben des Verbundprojektes weitergeführt. Die Messungen erfolgen dabei sowohl stationär als auch zeitaufgelöst. Um die Assoziation von Huminstoffen in An- und Abwesenheit von Metallionen zu untersuchen, wird mit einer *stopped-flow*-Apparatur der Interlanthanid-Energietransfer als Sonde eingesetzt werden. (s. AP3). Für die Mitte des Jahres 2005 werden die geplanten Messungen zur Photodynamik der HS begonnen. Zunächst werden die Messungen bei pH 5 und einer Ionenstärke  $I = 10^{-2}$  M durchgeführt, als Parameter der intrinsischen HS-Fluoreszenz werden der Einfluss der Anregungswellenlänge, die Emissionswellenlänge und die Beladung mit Lanthanoid-Ionen untersucht.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

M.U. Kumke, S. Eidner: Humic substances: molecular details and applications in land and water conservation (E.A. Ghabbour und G. Davies (eds)), Taylor and Francis, Inc., 2005, zur Veröffentlichung angenommen. *Fluorescence and energy transfer processes of humic substances and related model compounds in terbium complexes.*

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9934</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.08.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 857.712,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Fein

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Vorhabens sollen folgende Testfälle bearbeitet werden:

AS 1: Transport von Chlorid und Kalium im Gebiet der Insel Langeoog

AS 2: Transport von Radionukliden im Grundwassermessfeld Krauthausen

AS 3: Transport von Uran, Nickel und Eisen im ehemaligen ostthüringischen Uranbergbaugbiet Ronneburg

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

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

Zur Hydrogeologie der Insel Langeoog liegt bei dem Institut für Umweltgeologie der Technischen Universität Braunschweig (Prof. Wolff) umfangreiches Datenmaterial vor. Mit den Modellierungsarbeiten wurde begonnen.

Zur Datenbeschaffung für die Modellierung des Transportes von Uran, Nickel und Eisen im ehemaligen ostthüringischen Uranbergbauggebiet wurde Kontakt mit Prof. Büchel am Institut für Geowissenschaften der Universität Jena aufgenommen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

Insbesondere wird Kontakt zu Prof. Vereecken am Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre, Institut Agrosphäre, des Forschungszentrums Jülich aufgenommen, um Daten zum Radionuklidtransport im Grundwassermessfeld Krauthausen zu erhalten.

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9944</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Goelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.08.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 204.548,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Wieczorek	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

AP 1: Die Messungen im Streckenversatz in Sektion I und II wurden weitergeführt. Der bisherige Trend (Resistivitätserniedrigung und Vergleichmäßigung durch Wasseraufnahme) setzte sich fort. In Sektion I ist die Resistivitätsverteilung inzwischen sehr homogen. Bei Werten um  $3 \Omega\text{m}$  (entspricht einem Wassergehalt von 21 – 22 %) ist nahezu Vollsättigung erreicht.

Bei den Messungen im Buffer wurde die erwartete Verringerung der Resistivität mit der Wasseraufnahme festgestellt. Auch hier zeichnet sich allmählich eine Vergleichmäßigung der Resistivitätsverteilung ab; der Buffer ist von der Vollsättigung allerdings 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  $\Omega\text{m}$ . Die prognostizierte Entsättigung des Gebirges nach Einbau des Buffers wurde in Übereinstimmung mit der Interpretation der Buffermessungen nicht beobachtet. Die Geoelektrikanlage wurde vom Hersteller gewartet.

AP 2: Der Versuchsaufbau für den geplanten Aufsättigungsversuch wurde entworfen und die ersten Komponenten (Plexiglasrohre zur Aufnahme des Versatzmaterials) hergestellt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP 1: Weiterführung der In-situ-Messungen

AP 2: Komplettierung des Versuchsaufbaus und Durchführung des Aufsättigungsversuchs

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9954</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2004 bis 31.07.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.11.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.304.439,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Noseck	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Vorhabens werden die wissenschaftlichen Ergebnisse von experimentellen und theoretischen FuE-Vorhaben im Hinblick auf ihre Berücksichtigung in Modellvorstellungen und Modelldaten für Langzeitsicherheitsanalysen ausgewertet. Beantragte und laufende Projekte werden hinsichtlich ihrer Relevanz für die Bewertung der Langzeitsicherheit und die Verwendung in einem Safety Case überprüft.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

TA 1: Bearbeitung grundlegender Aspekte

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

TA 2: Bearbeitung von Schwerpunktthemen

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- TA 1: - Teilnahme am jährlichen Treffen der NEA-Arbeitsgruppe IGSC in Paris.
- Teilnahme am Arbeitstreffen des Projektträgers zum Thema „EU-Projekte“ mit Beiträgen über die thematischen Netzwerke NET.EXEL und NAnet.
  - Beginn mit den Arbeiten zur Aufsättigung von Bentonit über Dampfdiffusion unter Verwendung des Rechenprogramms VAPMOD im Rahmen der neuen EBS-Task Force.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- TA 1: - Teilnahme am jährlichen RWMC-Meeting in Paris.
- Teilnahme an der Abschlussveranstaltung des NEA-Sorptionsprojekts Phase II.
  - Verfolgung der Arbeiten in Arbeitskomponente RTDC6 im EU-Projekt FUNMIG zur Aufbereitung der Ergebnisse für Langzeitsicherheitsanalysen.
  - Bearbeitung des Fragebogens der IGSC zum Thema „Handling of timescale issues“ in einem Safety Case als Basis für einen geplanten Statusbericht.
  - Anfertigung eines Beitrags für den 3. EBS-Workshop der NEA zum Thema „Role of PA / Process models“.
  - Sichtung der Studien der NEA, IAEA und anderer Länder zum Safety Case. Zusammenstellung von Elementen, die für den Safety Case eines potentiellen deutschen Endlagers relevant sind.
  - Sichtung und Zusammenstellung der bisher vorliegenden Arbeiten zur Ausbreitung von Gasen in Tonformationen. Überprüfung der in der Studie Opalinuston verwendeten Modelle und Datensätze und deren Absicherung durch Experimente.
  - Weiterführende Arbeiten zur Aufsättigung von Bentonit in der EBS Task-Force. Überprüfung des Einflusses der Hydrationsgeschwindigkeit auf die Aufsättigung durch Dampfdiffusion.
  - Teilnahme an der Sitzung des Arbeitskreises HAW-Produkte
- TA 2: - Sichtung und Zusammenstellung nationaler und internationaler Arbeiten zur langfristigen klimatischen Entwicklung in Zentraleuropa und Auswirkungen auf deutsche Verhältnisse. Dokumentation möglicher Klimaverläufe über lange Zeiträume.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine



## **2.2 C-Vorhaben**

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0689</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.1999 bis 30.09.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 30.09.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.386.656,41 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Hagemann

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In Fortführung abgeschlossener und laufender Forschungsvorhaben sind in diesem Projekt vergleichende Untersuchungen zur Gasfreisetzung aus UTD-relevanten und UTV-zugelassenen Abfällen vorgesehen. Hierbei soll insbesondere geklärt werden, welche Abfallarten unter trockenen Ablagerungsbedingungen oder nach Zutritt von Gebirgslösungen gasbildend sind, wie hoch ihr Gasbildungspotential ist und welche Gasdrücke sich in den Ablagerungskammern unter ungünstigsten Bedingungen ausbilden können.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Ausgehend von früheren Arbeiten ist eine standardisierbare Methodik zur Messung der Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen zu entwickeln, die sowohl die kontinuierliche Bestimmung des Druckaufbaus als auch Aufschlüsse über die quantitative Zusammensetzung der entstehenden Gase zulässt.
- Es ist eine systematische Querschnittsuntersuchung bei UTD-relevanten und UTV-zugelassenen Abfallarten vorzunehmen. Hierzu wird eine jeweils repräsentative Probenzahl beschafft und chemisch wie auch mineralogisch charakterisiert. Möglichst kurzfristig nach Eingang der Abfallproben wird deren Gasfreisetzungspotential in Abhängigkeit von verschiedenen Versuchsparametern (Temperatur, Reaktionslösung, mikrobielle Aktivität) untersucht.
- Aus den experimentellen Daten werden Modellvorstellungen entwickelt, mit denen mittelfristige Aussagen über Gasentwicklungspotentiale unter Einlagerungsbedingungen getroffen werden können. Es sind diejenigen Abfallarten und Gasbildungsprozesse zu identifizieren, die langfristig zu einem erhöhtem Druckaufbau und damit zu einem Sicherheitsrisiko führen könnten.

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

Im Vorhabenszeitraum wurden fünf Versuche im Technikumsmaßstab zur Untersuchung des Gasfreisetzung aus Abfällen abgeschlossen. Sie zeigten nach 2-12 Monaten keine weitere nennenswerte Gasentwicklung. Weitergeführt wurden drei Versuche, die auch über das Projektende hinaus fortgeführt werden.

Die in den großen Ansätzen erzielten kumulierten Gasmengen erreichen analog zu den UTD-nah-Untersuchungen im allgemeinen nicht die in GasMax-Versuchen gefundenen Niveaus (Tabelle 19, Abbildung 33ff. S.162ff.). Ausnahmen sind ein Gasreinigungsrückstand und ein Schleifschlamm, die mit bis zu 13,79 m<sup>3</sup>/t bzw bis zu 42,66 m<sup>3</sup>/t Wasserstoffentwicklung das drei- bis vierfache der GasMax-Werte zeigen (bei allerdings erheblich längeren Reaktionszeiten).

Die Gasfreisetzungsgeschwindigkeit ist im allgemeinen kleiner als im entsprechenden UTD-nah-Versuch. Die kompakteren Abfallkörper in den Technikumsversuchen dürften den Zutritt von Lösung zu den Abfalloberflächen erheblich verlangsamen und damit auch die gasbildenden Reaktionen. In noch größeren Dimensionen (BigBags) ist mit noch niedrigeren Geschwindigkeiten zu rechnen. In Einzelfällen können kurzzeitig sehr hohe Gasfreisetzungsraten auftreten. Die Spitzenwerte liegen bei 2-3 m<sup>3</sup>/(t·d).

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Anfertigung des endgültigen Abschlussberichtes.

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0710</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2000 bis 30.09.2004		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 30.09.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 950.017,99 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Hagemann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zur Beurteilung des langfristigen Verhaltens von schadstoffhaltigen Ablagerungen unter variablen geochemischen Bedingungen werden verlässliche Prognosemodelle benötigt. Ziel des Vorhabens ist die Schaffung einer breit anwendbaren thermodynamischen Datenbasis für die geochemische Modellierung von zink-, cadmium- und bleihaltigen Lösungen niedriger bis hoher Ionenstärke bei 25 °C und für einen pH-Bereich zwischen 2 und 12. Dabei soll die Speziation der Metallionen in Lösung, insbesondere ihre ausgeprägte Neigung zur Bildung von Chloro- und Hydroxo- und Carbonatokomplexen berücksichtigt werden. Weiterhin werden die Eigenschaften von schwerlöslichen zink-, cadmium- und bleihaltigen Verbindungen untersucht und im Technikumsmaßstab hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit als langfristig wirksame Speicherminerale experimentell überprüft.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Ableitung einer abgesicherten Datenbasis für saline Lösungen: Vervollständigung der Datenbasis zur Berechnung der chemischen und thermodynamischen Eigenschaften von Zink, Blei und Cadmium in wässrigen Lösungen
- Identifizierung effektiver Rückhalte-mechanismen: Untersuchung der Eigenschaften (Zusammensetzung, Löslichkeitskonstanten) schwerlöslicher Verbindungen von Zn, Pb, Cd mit den Ionen Na, K, Mg, Ca, Cl, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> und OH hinsichtlich ihrer Eignung zur Rückhaltung und langfristigen Fixierung
- Qualitätsgesicherte Dokumentation der gesammelten Daten und berechneten Parameter in einer standardisierten Form
- Überprüfung von Rückhalte-mechanismen im Technikumsmaßstab: Durchführung von Säulen- und Batchversuchen zur Überprüfung der Anwendbarkeit des entwickelten thermodynamischen Parametersatzes. Hierbei wird die tatsächliche Wirksamkeit von "geochemischen Puffern" oder "Fängermineralen" hinsichtlich ihrer Rückhaltung von Pb, Zn und Cd aus schadstoffhaltigen Lösungen untersucht und mit den Modellierungsergebnissen verglichen.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Eine tiefgehende faktoranalytische Spektrentrennung der Spektren von Lösungen des Systems  $\text{Pb(II)|Na,K,Mg,Ca|Cl-H}_2\text{O}$  hat gezeigt, dass die Lage der Hauptabsorptionsbanden der Bleichlorospezies konzentrationsabhängig ist und sich mit zunehmender Hintergrundkonzentration zum Langwelligen verschiebt. Wegen der starken Bandenüberlagerung ist dieser Prozess nicht quantifizierbar. Die Auswertung der UV-Spektren von bleichloridhaltigen Lösungen hinsichtlich der Speziesverteilung von Blei bleibt damit weiterhin mit einem systematischen Fehler behaftet.
- Das aufgrund der Ramanmessungen und anderer thermodynamischer Daten entwickelte Aktivitäts- und Speziationsmodell für Cadmiumchlorokomplexe beschreibt die experimentellen Beobachtungen in cadmiumchloridhaltigen Lösungen sehr gut. Werden jedoch Systeme betrachtet, die Cadmiumkonzentrationen oberhalb jener in den Raman-Messlösungen aufweisen, so sind erhebliche Abweichungen nicht zu verhindern. In solchen Systemen kommt es zu Wechselwirkungen zwischen den Cadmiumspezies und möglicherweise zu mehrkernigen Cadmiumchlorokomplexen, die vom jetzigen Modell nicht berücksichtigt werden. Ähnliche Aussagen gelten für zinkchloridhaltige Systeme.
- Die nun abgeschlossenen Säulenversuche zeigen, dass Cadmium, Zink und Blei in hochsalinaren Systemen nur sehr schwach durch phosphat-, silikat- oder aluminathaltige Zusatzstoffe im Versatz zurückgehalten werden können. Die in der Vergangenheit für einige Radionuklide erhaltenen positiven Resultate konnten somit für die drei genannten Elemente nicht bestätigt werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung des Abschlussberichtes

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38670 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0720</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2000 bis 31.03.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 699.653,99 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Lux	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ein besonderer Teilaspekt des geforderten Sicherheitsnachweises für Untertagedeponien ist die Quantifizierung der zeitabhängigen Dichtigkeit des Verbundsystems „Querschnittsabdichtung-Salzgebirge“. Im Grubenraumnahbereich entwickeln sich mit der Standzeit zunehmende Gefügeauflockerungen 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) Mikrogefügeuntersuchungen
- h) Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisdaten und exemplarische Anwendung auf ausgeführte Beispiele.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Implementierung des Verheilungsansatzes in MISES3/ Betriebssystem Windows abgeschlossen und anhand von Testberechnungen geprüft
- Ableitung eines vollständigen Parametersatzes für das Stoffmodell Hou/Lux (Schädigung und Verheilung) für Kurzzeit- und Langzeitversuche
- Implementierung und Anwendung des Stoffmodells für Versatzkompaktion von Korthaus/ Hein

- Numerische Berechnung und anschließende Auswertung eines Laborversuchs mit verringerter Beanspruchungsrate
- Modifikation der kinetischen Gleichung für die Schädigungsrückbildung
- Grundlegende Überarbeitung des Berechnungsalgorithmus im implementierten Verheilungsansatz

Der im vorangegangenen Zwischenbericht beschriebene, neu entwickelte und in MISES3 implementierte Verheilungsansatz wurde für Verifikationsberechnungen von Laborversuchen eingesetzt. Dabei sind folgende Ergebnisse gefunden worden:

- Die Berechnungen mit von 1 MPa/min auf 1 MPa/d verringerter Beanspruchungsrate bei der Zunahme der Radialbelastung führen bei einsetzender Verheilung erneut zu unstimmgigen Ergebnissen.
- Kontrollberechnungen mit Beanspruchungsraten von 1 MPa/d, aber Verheilungsparametern, die den Ablauf der Rissschließung und Verheilung beschleunigen, ergaben insgesamt plausible Berechnungsergebnisse. Die numerischen Instabilitäten wirken sich nicht nachhaltig auf die gesamte Berechnung aus, sondern nur auf einen kleinen Zeitraum der gesamten Berechnungszeit. Der Rückschluss liegt nahe, dass numerische Instabilitäten immer dann die Berechnungsergebnisse verfälschen, wenn
  - die Rissschließung auf einem hohen Spannungsniveau bei noch großer Dilatanz einsetzt oder
  - die Rissschließung und nachfolgend die Verheilung unter diesen Bedingungen insgesamt langsam erfolgen, d.h. über einen längeren Zeitraum.
- Bei den als plausibel erachteten Berechnungen wurde festgestellt, dass der Rückgang der Dilatanz dem Verlauf aus den Laborversuchen gut entspricht, der Schädigungsrückgang aber zu schnell erfolgt.
- Vom physikalischen Verständnis her darf es aufgrund der Verheilung gar nicht zu einem Spannungsaufbau bzw. -abbau im Prüfkörper kommen. Da allerdings in den Berechnungsalgorithmus nicht eingegriffen werden kann und kein als geeignet anzusehender Ansatz zur Spannungsberechnung im FE- Programm zur Verfügung steht, wird eine Modifikation vorgeschlagen: nachdem verheilungsinduzierten Verzerrungsanteile in Verbindung mit dem bestehenden Iterationsalgorithmus als Grund für die numerischen Probleme bei der Berechnung identifiziert worden sind, werden diese bei der Spannungsberechnung nicht mehr berücksichtigt. Als Konsequenz daraus werden die Verformungen, die im selben Zeitschritt aus den Spannungen berechnet werden, ohne den Anteil der verheilungsinduzierten Verzerrungen ermittelt. Bei der Anwendung des Verheilungsansatzes auf untertägige Bauwerke dominieren viskoplastische Verzerrungen aus Kriechprozessen, sodass der Anteil der verheilungsinduzierten Verzerrungen keinen großen Einfluss auf das Endergebnis besitzt.
- Für die Korrektur der kinetischen Gleichung der Schädigungsrückbildung war die Einführung eines Korrekturfaktors ausreichend.

#### 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 Labordatensätzen.
- Rückrechnung von Laborversuchen an zylindrischen Prüfkörpern mit reduzierter Belastungsrate.
- Anwendung des Verheilungsansatzes auf ausgewählte Fragestellungen und Übertragung auf reale Untertagebauwerke gemäß Antragsskizze, d. h. Berechnungen mit dem Modell einer Strecke mit Tübbingausbau und ausgewählte Berechnungen mit dem Modell eines Dammbauwerks und versetzter Strecke.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0830</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2000 bis 31.10.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.10.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.487.988,58 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geol. Kull	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Weiterentwicklung von selbstverheilendem Salzversatz (SVV) für die Abdichtung von Strecken in Untertagedeponien baut auf den Erkenntnissen des Vorhabens 02 E 9047 auf. Ziel des Vorhabens ist es, die im Labormaßstab ermittelte hohe abdichtende Wirkung des SVV's und seine hohe mechanische Stabilität in situ zu überprüfen. Das Versuchskonzept dazu beinhaltet ein Labor-, ein In-situ- und ein Modellierungsprogramm. Im Zuge der Optimierung der Mineralmischung durch Variation der Zuschlagstoffe werden die mechanischen Eigenschaften sowie die Entwicklung der Kristallisationsdrücke im eingespannten Zustand und für unterschiedliche Kompaktionsdichten im Labor ermittelt. Unter Einbeziehung relevanter Belastungsszenarien werden die Reaktionspfade (EQ 3/6) und die mechanischen Auswirkungen (Ansys) auf die Versatzintegrität modelliert. Auf der Grundlage von vorlaufenden Technikumsversuchen wird dann die abdichtende Wirkung einer SVV-Mischung gegenüber Lauge in situ in Großbohrlöchern getestet. Vorgesehen ist die Durchführung von drei Versuchen in ca. 15 m langen und ca. 50 cm großen Bohrlöchern im Forschungsbergwerk Asse bei Remlingen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das FuE-Vorhaben wird durch nachfolgende Arbeitsschritte beschrieben:

AP1: Laborarbeiten

- Ermittlung mechanischer (Kristallisationsdruck, Poissonzahl, E-Modul, Kriechverhalten), geochemischer (Mineralparagenesen, Lsg.-Dichten), hydraulischer (Permeabilität, Porosität) Parameter, thermischer (Kalorimetrie) und struktureller (Tomografie) Eigenschaften von SVV.
- Optimierung von SVV-Mischungen durch Variation der Zuschlagstoffe und Schüttdichten

AP2: Modell

- Entwicklung relevanter Belastungsszenarien und von Modellen zur Beschreibung der geochemischen Reaktionspfade sowie des mechanischen Verhaltens von SVV

AP2: in situ

- Durchführung von Versuchen im Technikums- und In-situ-Maßstab zur Belegung der Wirkungsweise und der Anwendungsmöglichkeiten von SVV

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Rahmen der Nachbeprobung der Großbohrlöcher GB-1, GB-2 und GB-3 durch Kernbohrungen in der ausreagierten SVV-Matrix und dem Kontaktbereich zum Gebirge wurden an dem Kernmaterial im Labor petrophysikalische und Festigkeitsuntersuchungen sowie mineralogische Analysen durchgeführt.

Die ermittelten Gaspermeabilitäten ( $<10^{-18} \text{m}^2$ ) und Porositäten ( $< 5 \text{ Vol. } \%$ ) der ausreagierten SVV-Matrix sind vergleichbar mit Kennwerten von Salzgrus, das über mehrere Jahre kompaktiert wurde. Die in der Triaxialpresse durchgeführten mechanischen Festigkeitsversuche zeigen, dass sowohl das Dilatanz- als auch das Bruchverhalten mit dem von Steinsalz vergleichbar sind.

Die Röntgenaufnahmen am ausreagierten SVV belegen, dass sich bei Laugenzutritt zunächst metastabile Mineralparagenesen bilden, die dann in stabile Paragenesen mit Halit, Kieserit und Kainit übergehen. Dabei werden metastabiler Penta- und Hexahydrit in stabilen Kieserit umgewandelt. Die Befunde waren zuvor durch eine EQ3/6-Modellierung prognostiziert worden. Als eine mineralogische Besonderheit wurde Magnesiumchloridsulfat – Oktohydrat in dem mit Magnesiumchlorid-Lauge gesättigten Testbohrloch GB-2 bestimmt.

Die Kerne aus dem überbohrten Kontaktbereich zwischen ausreagiertem SVV und dem Gebirge (Steinsalz) zeigten einen vollständigen Formschluss. Die neu gebildeten SVV-Mineralen waren mit dem Steinsalz zu einem dichten Kontaktbereich über den gesamten Bohrlochumfang verwachsen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Qualifizierung von SVV-Material (Planung eines Fortführungsprojektes)

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

HERBERT, H.-J. & KULL, H. (2004): A new self sealing and healing backfill material for repositories in salt formations.- Solution Mining Research Institute; Technical Conference, Proceeding p. 239-264 –; October 03-06, 2004; Berlin –Germany.

HERBERT, H.-J. & KULL, H. (2004): A Self Sealing Backfill Material for Repositories in Salt Formations.- Waste Management Symposia –; WM'05 February 27 – March 3, 2005; Tucson / Arizona US.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2 A, 38670 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0841</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2001 bis 30.06.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.097.222,15 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

- Abteufen einer Bohrung durch das gesamte z2HS in Braunschweig-Lüneburg
- Analyse der Gase auf den Korngrenzen, der Br-Gehalte im Halit und der Einschlüsse
- Das Br-Profil lässt vermuten, dass es zu keiner chemischen Umkristallisation des Steinsalzes gekommen ist.
- Hauptgas in den Proben ist das Methan.
- Bislang konnte auf den Korngrenzen und Einschlüssen 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.
- Eindunstungsexperimente zur Fraktionierung von Methan im Meerwasser.
- Die Methanfraktionierung kann experimentell nachvollzogen werden. Das Ausmaß der Fraktionierung hängt von der chemischen Zusammensetzung des Meerwassers ab.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschließende analytische Arbeiten am zweiten Bohrkern.

### 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., Tsypukov, 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.
- Potter, J., Siemann, M. G., Tsypukov, M.: A geochemical, fluid inclusion and stable isotopic study on the volatiles found in a layered Zechstein evaporite sequence and the implications for hazardous waste disposal within these deposits – Geochim. Cosmochim. Acta, in review.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99421 Weimar		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 0881</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2001 bis 31.07.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.07.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.208.490,51 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Schanz	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das FuE-Vorhaben hat die Untersuchung des mechanisch-hydraulischen Verhaltens eines Abschlussbauwerks im Salinar, unter Berücksichtigung der physikalisch-chemischen Effekte zum Ziel. Im Mittelpunkt steht die Quantifizierung der Eigenschaften von variabel gesättigten, hochverdichteten Bentoniten. Dieses Projekt steht unmittelbar vor seinem Abschluss.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### Arbeitsgruppe Weimar

- Kapillardruck-Sättigungs-Beziehungen; teilgesättigte Durchlässigkeit, Steifigkeit, Festigkeit
- Validierung des numerischen Modells
- Formulierung eines elasto-plastischen Ansatzes für teilgesättigte, quellfähige Böden

### Arbeitsgruppe Tübingen

- Entwicklung und Verifizierung eines mechanistischen Quellmodells für Bentonite auf der Basis der Diffusive Double Layer (DDL) Theorie, Modellentwicklung für reaktive Transportprozesse in teilgesättigten Bentoniten, Erarbeitung verschiedener elasto-plastische Konsolidierungsmodelle für poröse Medien und Verbesserung entsprechender numerischer Verfahren

### Arbeitsgruppe Braunschweig

- Versuchskörperherstellung, konstante Mikro-Struktur, Lösung, Probenpräparation
- Bestimmung von Diffusionskoeffizienten von Wasser in kompaktiertem Bentonit
- Infiltration von kompaktiertem Bentonit unter unterschiedlichen Randbedingungen

### Arbeitsgruppe Freiberg

- Analyse der im Feldversuch Sondershausen gemessenen Feuchteverteilungen mittels 3D 2-Phasenmodell
- Nachuntersuchungen am Versuchsort (Permeabilitätsmessungen, Feuchtegehalte im Bentonit und in der Gebirgskontur, Ortung von Fließwegen)

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

Im Berichtszeitraum wurde mit der Erstellung des Abschlussberichts begonnen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten stehen unmittelbar vor ihrem Abschluss. Restarbeiten werden termingerecht abgeschlossen. Es wurde ein Folgeantrag gestellt, der aktuell eine Förderbewilligung erhielt: Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme (02C1104).

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 0892</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2002 bis 31.12.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 300.160,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr.-Ing. Minkley	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Reanalyse dynamischer Vorgänge im Salzgebirge führt zu dem Schluss, dass das mechanische Verhalten von Diskontinuitäten und Schichtflächen einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung und den Ablauf von Bruchvorgängen im Salinar ausübt. Das Salzgebirge ist bisher vornehmlich als Kontinuum betrachtet worden.

Ziel des Vorhabens ist die Einbeziehung und Berücksichtigung für die Sicherheit relevanter Diskontinuitäts- und Schichtflächen in die Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar, die als UTD bzw. UTV genutzt werden. Das bislang weitgehend unerforschte mechanische Verhalten der Schichtflächen im Salzgebirge soll durch experimentelle Untersuchungen aufgeklärt und für Berechnungen zum Nachweis der geotechnischen Sicherheit sowie Modellsimulation geomechanischer Grenzzustände bereit gestellt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Experimentelle Untersuchungen zum mechanischen Verhalten natürlicher Diskontinuitäts- bzw. Schichtflächen im Salinar.
- AP 2: Entwicklung von Stoffansätzen zur Beschreibung des Kriech- und Entfestigungsverhaltens salinärer Schichtflächen.
- AP 3: Validierung des entwickelten Schermodells und der Modellvorstellungen zum Verhalten von Schichtflächen im Salinar.

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

- AP 1: Durch speziell konstruierte Scherboxen aus Stahl konnten Scherversuche an Schichtflächen Carnallitit/Steinsalz bis zu Normalspannungen von 40 MPa durchgeführt werden.
- AP 2: Das entwickelte Schermodell für Schichtflächen mit Erfassung der Scherentfestigung wurde modifiziert, um eine praktikable Bestimmung der erforderlichen Eingangsparmeter aus Scherversuchen im Labor-Routinebetrieb zu ermöglichen. Das in C<sup>++</sup> programmierte und als DLL-File vorliegende Schermodell wurde für die diskontinuumsmechanischen Rechenprogramme UDEC und 3DEC verifiziert.
- AP 3: In verschiedenen Testrechnungen ist das entwickelte Schermodell für Schichtflächen durch Rückrechnungen zu dynamischen Versagensvorgängen im Salzgebirge validiert worden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Erarbeitung des Abschlussberichts

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

Zum mechanischen Verhalten von Diskontinuitäten im Salzgebirge.  
33. Geomechanik Kolloquium, BAF Freiberg, November 2004

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0912</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2002 bis 30.04.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 867.752,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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 isopiestic Messungen zur Bestimmung der Pitzerkoeffizienten für Al in basischen und sauren wässrigen Salzlösungen zeigten, dass es zu einer Korrosion der Tantal-Tiegel gekommen ist, die porös und brüchig geworden sind. Eine Auswertung der isopiestic Messungen für diese Systeme war daher nicht möglich.
- Löslichkeitsuntersuchungen mit Wollastonit und Forsterit konnten noch nicht mit Hilfe des neuen Parametersatzes für die Modellierung von Si in hochsalinaren Lösungen zufrieden stellend modelliert werden.
- Für potentiometrischen Titrations zur Ermittlung des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von  $\text{H}_4\text{SiO}_4 / \text{H}_3\text{SiO}_4^-$  in Abhängigkeit von der Salzfracht wurden fortgesetzt. In diesem Berichtszeitraum wurde begonnen eine Methode zur Auswertung der Titrationskurven zu entwickeln.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortsetzung der isopiestic Messungen für Al in basischen und sauren wässrigen Salzlösungen. Aufgrund der experimentellen Probleme müssen die isopiestic Messungen mit den Al-Systemen wiederholt werden. Hierzu wurden neue Tiegel aus Kupfer mit TiN-Legierung bestellt.
- Fortsetzung der Löslichkeitsmessungen mit Gibbsit im sauren und basischen pH-Bereich in den Systemen K-H-Cl-Al, Mg-H-Cl-Al, Ca-H-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>.
- Wiederholung der Löslichkeitsmessungen mit Wollastonit und Forsterit.
- Fortsetzung der potentiometrischen Titrations zur Bestimmung des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von  $\text{H}_4\text{SiO}_4 / \text{H}_3\text{SiO}_4^-$  in Lösungen in Abhängigkeit der Salzfracht.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0922</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verschlussystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2002 bis 30.06.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.091.844,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Nüesch	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Geotechnische Barrieren (Schacht-, Strecken- und Bohrlochverschlüsse) in UTD sind als nachweislich langzeitstabile Verschlussbauwerke auszubilden. 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

Die „zukunftsträchtigen“ Materialien wurden im Steigversuch weiter getestet. Diese Materialien sind sehr feinkörnig, besitzen größere Ton- und Schluffanteile und einen nicht unerheblichen Kalkanteil. Der Kalk reduziert den Benetzungswiderstand, der Wassertransport wird deutlich verbessert. **Die 3 m Steighöhe wurden klar erreicht.** Die Materialien sind mittlerweile ausgebaut und der Feuchtgehalt gravimetrisch in verschiedenen Höhen gemessen (pF-Kurve der Bewässerung). Darauf aufbauend wurden zunächst Sand-Kaolinmischungen eingesetzt, welche ca. 2 m Steighöhe erreichten. Die maximalen Wassergehalte liegen nur zwischen 18 und 20 %. Es ist zwischenzeitlich gelungen, eine viel versprechende Mischung als quasi „Artmix“ zu erzeugen, welche die Steiggeschwindigkeit und Höhe der „Naturmaterialien“ übertrifft. Diese Mischung aus 70 % Feinstsand, 16 % Kaolinpulver und 14 % Kalkmehl hat in 50 Tagen bereits 270 cm Steighöhe erreicht. Um mehr Materialien gleichzeitig zu testen wurde die Steigapparatur erweitert. Sie kann nun 20 Proben gleichzeitig aufnehmen. In dieser wurden die Versuche mit 1,15 kg/l dichter Salzlauge begonnen. Deutlich wird bereits zum Beginn, dass der Aufstieg langsamer erfolgt. Einzige Ausnahme ist der Gelblehm, der sich weit weniger von der Lauge beeindruckt lässt. Der Versuch mit mehreren vertikalen Schichten im „Turmversuch“ wurde beendet. Es wurde

hierbei deutlich, dass das ÄS den Bentonit befeuchtet: das Wasser steigt im ÄS höher als im Bentonit. Nach Abstellen der Wasserzufuhr stockte das Ansteigen im ÄS, während das Dichtsegment (DS) noch etwas Wasser aus dem ÄS aufnahm und die Wasserfront noch weiter anstieg. Auch die TDR-Messung konnte die abgelesenen Steighöhen gut wiedergeben. Ein weiterer „Turmversuch“ wurde mit Salzwasser gestartet. 3 ÄS, bestehend aus unterschiedlichen Mischungen, wurden einem DS vorgelagert. Zu Beginn werden die ÄS sehr ähnlich schnell bewässert und zeigen ein Steigen in Abhängigkeit von der Zugabestelle der Salzlösung. 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 DS ab, eine deutliche Höhendifferenz (derzeit 60 cm zu 30 cm) kann festgestellt werden. Damit ist schon zu Beginn der Tests die grundsätzliche Eignung für saline Wässer belegt.

In der Fortführung der Untersuchungen vom ersten Halbjahr 2004 brachte die Bestimmung der hochfrequenten dielektrischen Eigenschaften trotz einer mechanischen Einrichtung, mit der die sukzessive Verdichtung der Probenmaterialien standardisiert wurde, noch nicht die erwartete Harmonisierung der Ergebnisse aus verschiedenen Messreihen. Die Probenaufbereitung wird weiter entwickelt und es werden weitere Messreihen durchgeführt. Ziel ist eine standardisierte Kalibrierung.

#### AP 3: Numerische Simulation

Mit der Bauhausuniversität Weimar wurde das Vorgehen abgestimmt. Die numerische Simulation wird in dem vorliegenden Projekt dazu dienen, durch Sensitivitätsanalysen den Einfluss und die Bedeutung der einzelnen Bodenparameter abzuschätzen. Außerdem sollen die Ergebnisse des „Turmversuches“ nachmodelliert werden.

#### AP 4: Versuche im halbtechnischen Maßstab

Mit der TU Bergakademie Freiberg wurde eine Kooperation begründet. Die dort vorhandene Apparatur wurde überholt. Die Modalitäten und der erste Versuchsaufbau wurden abgeklärt. Der Einbau eines ersten Versuchs mit Schichtungen von Bentonit und Feinsand in ansteigender Dichte ist so konzipiert, dass die Salzlösung die unteren DS beim Beaufschlagen durchschlägt (Sollbruchstellen). Damit wird die Funktion der ÄS getestet. Zusätzliche in das DS eingebaute Störungen werden präferenzielle Durchbrüche provozieren. Die TDR-Sensoren zeichnen das Fortschreiten der Feuchtefront und die Verhältnisse in den ÄS und DS auf.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

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). Weitere Materialien werden im Steigversuch bei veränderten Versuchsbedingungen getestet. Die Versuche im halbtechnischen Maßstab werden im Frühjahr 2005 beginnen. Parallel wird über die numerische Simulation eine Sensitivitätsanalyse der Materialeinflüsse beim Durchfeuchten des Verschlusssystems angegangen.

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

Der Projektstand wurde am 25. November 2004 im Projektgespräch im Forschungszentrum Karlsruhe vorgestellt. Auf der Homepage ([www.untertageverschluss.de](http://www.untertageverschluss.de)) ist das Protokoll dazu eingestellt.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0932</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2003 bis 31.12.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 365.274,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

- Anwendung von  $^{14}\text{C}$ -markierten, natürlichen und synthetischen Huminsäuren für Adsorptionsstudien an repräsentativen Geomatrices
- $^{14}\text{C}$ -Radiomarkierung und Bereitstellung von Gorleben-Huminsäure [ $^{14}\text{C}$ ]GoHy-573 (TU München)
- Humatkomplexierung von [ $^{212}\text{Pb}$ ]Pb $^{2+}$

Die Adsorptions- / Desorptionsstudien mit  $^{14}\text{C}$ -markierter Aldrich-Huminsäure wurden auf Seesand und Kaolinit hinsichtlich ihres zeitlichen Verhaltens ausgedehnt. Der Kaolinit (pH 4,7) zeigt bereits nach 2 h eine Adsorptionssättigung für Huminsäure (2,5 mg/l) im Rahmen von Batchexperimenten. Beim Seesand wird dies erst nach ca. 200 h erreicht. Eine signifikante Huminsäure-desorption von Huminsäure beladenen Seesand konnte bei einem konstantem pH-Wert von 5,0 innerhalb von 5 Wochen nicht beobachtet werden. Nach  $^{14}\text{C}$ -Radiomarkierung von GoHy-573-Huminsäure wurden dem Institut für Radiochemie (Dr. Kim, TU München) 48 mg [ $^{14}\text{C}$ ]GoHy-573-Huminsäure zur Verfügung gestellt. Die Komplexierung von Huminsäuren (Aldrich, M42) mit zweiwertigem Blei wurde unter Verwendung der Radiotracer-Technik mit trägerfreiem  $^{212}\text{Pb}$  bei pH 5,0 und 6,0 untersucht. Hierfür wurde vom Institut für Kernchemie (Uni Mainz) ein  $^{228}\text{Th}/^{220}\text{Rn}/^{212}\text{Pb}$ -Generator zur Verfügung gestellt. Die Kontamination aller Analytlösungen mit nicht-radioaktivem Blei wurde mittels ICP-MS ermittelt. Ziel war es, einen Pb-Konzentrationsbereich von fmol/l - nmol/l zu untersuchen. Die MS-Messungen ergaben eine Pb-Basiskonzentration von 9 nmol/l, unabhängig von der verwendeten Huminsäure. Die Kontamination mit nicht-radioaktivem Pb stammt überwiegend aus den verwendeten Chemikalien, die zur Einstellung von Ionenstärke ( $\text{NaClO}_4$ ) und pH (Puffer, NaOH,  $\text{HClO}_4$ ) verwendet worden sind. Die  $\log \beta_{\text{LC}}$ -Werte wurden im Konzentrationsbereich von 9 nmol/l - 10  $\mu\text{mol/l}$  Pb $^{2+}$  bestimmt: Aldrich (5,12; pH 5; 5,25; pH 6) bzw. M42 (4,99; pH 5) und zeigen im Gegensatz zu Cu $^{2+}$  und NpO $_2^+$  keine Abhängigkeit von der Metallionenkonzentration.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Bestimmung von  $\log \beta_{\text{LC}}$ -Werten für Fulvinsäuren und divalente Schwermetalle
- Adsorptionsstudien im ternären System M $^{2+}$ /HA/Matrix mit zweiwertigen Radiokationen an Kaolinit und Granit unter Variierung von Konzentrationen, pH und Art des Huminstoffs
- $^{14}\text{C}$ -Radiomarkierung von verschiedenen Fulvinsäuren (Dialyse versus Ultrafiltration) und deren Stabilitätsuntersuchungen hinsichtlich der Radiomarkierung mittels GPC
- Kinetische Untersuchungen der Adsorption/Desorption von  $^{14}\text{C}$ -markierten Huminstoffen an repräsentativen Geomatrices bei sich ändernden pH-Werten

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

A. Mansel, J. T. Patt, H. Kupsch: „Radiolabelling of Humic Substances with  $^{131}\text{I}$  and  $^{14}\text{C}$  and their Use for Adsorption Studies on Geomatrices under Conditions Near to Nature.“ 6<sup>th</sup> International Conference on Nuclear and Radiochemistry NRC 6, Aachen, 29.8.-3.9.2004.

A. Mansel, H. Kupsch: „Radiomarkierung von Huminstoffen mit  $^{131}\text{I}$  und  $^{14}\text{C}$  und deren Anwendung für Adsorptionsstudien an untertage-deponierelevanten Geomatrices unter naturnahen Bedingungen.“ GeoLeipzig2004, Leipzig, 29.9.-1.10.2004.

A. Mansel: „Anwendung von  $^{14}\text{C}$ -markierten Huminstoffen für Sorptionsstudien unter naturnahen Bedingungen / Humatkomplexierung von  $^{212}\text{Pb}^{2+}$ .“ BMWA/BMBF-Workshop: „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer.“, Heidelberg, 12.-13.10.2004.

A. Mansel: „ $^{14}\text{C}$ -Radiomarkierung von NOM und deren Anwendung für geochemische Untersuchungen.“ 5. Leipziger Kolloquium: „Radionuklidanwendung zur Gesunderhaltung des Menschen und zur Nutzung / Erhaltung der Natur.“, Leipzig, 27.10.2004.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG, Straße der Einheit 9, 06179 Teutschenthal		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0942</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2002 bis 31.10.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.10.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 470.201,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Knoll	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit dem Vorhaben soll ein Grundkonzept und die dazugehörigen Bemessungsgrundlagen für die Errichtung von Streckendämmen in leichtlöslichen Salzgesteinen, insbesondere im Carnallit, entwickelt werden. Das Grundkonzept dient als Basis für die nachfolgende Errichtung und Untersuchung eines Versuchsdammes.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1 Geochemisch-lösungskinetische Voraussetzungen und technisch-konstruktive Maßnahmen zur Verhinderung von Lösungserscheinungen im Verschlussbereich
- AP2 Analyse der Wirkungsbedingungen und Ableitung der Anforderungen
- AP3 Charakterisierung und Modellierung der ALZ als Werkzeug zur Bemessung des Verschlusses.
- AP4 Voraussetzungen für eine lösungsinduzierte Kristallisation zur Abdichtung der ALZ
- AP5 Wirkprinzipien und Möglichkeiten für eine langzeitliche Ertüchtigung der ALZ
- AP6 Mögliche Baumaterialien
- AP7 Entwicklung eines Grundkonzeptes

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1 Die Untersuchungsergebnisse liegen in Berichtsform vor. Sie ermöglichen die Eingrenzung der weiteren Forschungsarbeiten und die Festlegung der disziplinären Untersuchungen im Einzelnen.
- AP2 Als Basis der Untersuchungen in den anderen Arbeitspaketen wurden die geologisch-mineralogischen Detailaufnahmen des Versuchsortes vervollständigt. Dazu wurden feinstratigrafische Bemusterungen vor Ort mit Hilfe von Bemusterungsschlitzern sowie First- und Sohlbohrungen sowie Lichtschnittaufnahmen des Versuchsortes durchgeführt und ausgewertet. Die geophysikalischen Untersuchungen der potentiellen Dammstandorte wurden fortgeführt (Geoelektrik, Georadar, Ultraschall) und an Hand der feinstratigrafischen Aufnahmen bewertet. Die Ergebnisse zum AP2 wurden in einem Fachbericht zusammengestellt.

- AP3 Die Einzelergebnisse der Probenuntersuchungen (erbohrter Materialblock), der gesteinsmechanischen Untersuchungen im Labor und der In-situ-Untersuchungen zur ALZ fanden Eingang in ein an die Aufgabenstellung angepasstes und weiterentwickeltes geomechanisch-hydraulisches Berechnungsmodell für Dammbauwerke. Mit Hilfe dieses numerischen Modells wurden erste Berechnungen zur Spannungsverteilung im Damm und in der unmittelbaren Gebirgsumgebung durchgeführt. Als Dammmaterial wurde der in den AP1 und AP5 als potentieller Dammbaustoff ermittelte und parametermäßig charakterisierte MgO-Beton sowie die gemessenen Parameter der ALZ modelliert. Abdichtungsmaßnahmen der Fuge und der ALZ wurden zunächst noch nicht einbezogen. Die Ergebnisse wiesen auf eine relativ rasche Durchströmung des Bauwerkes (wenige Jahre) bei jedoch geringen Durchströmungsmengen (0,5 bis 1,3 l/d) hin. Die gewählten Dammeigenschaften bewirken im Modell das rasche Unterbinden der weiteren Ausbreitung der ALZ mit der Tendenz zu ihrer Rückbildung im Zeitverlauf. Zunehmende Dilatanzen traten in den Übergangsbereichen Dammbauwerk zu offenem Streckenquerschnitt auf. Dieser Sachverhalt ist bei der konkreten Dammkonstruktion zu berücksichtigen. Zum AP 3 liegt ein ausführlicher Fachbericht vor.
- AP4 Weiterführung der Untersuchungen zur Polyhalitbildung in R-Lösungen. Testung der Umsetzung von R-Lösung mit Calciumchlorid und Calciumschloridhydraten; Bestimmung der Temperatureffekte. Die Untersuchungen wurden quantitative und qualitative Analysen der Löse- und Kristallisationsgeschwindigkeiten untersetzt. Konsequenzen für den Aufbau einer Vorschüttung für den gesteuerten Lösungsangriff auf das Dammbauwerk wurden gezogen. Die In-situ-Untersuchung der ALZ wurde durch weitere gezielte Bohrungen zur Permeabilitätsbestimmung ergänzt. Dabei bestätigte sich, dass die In-situ-Permeabilitäten wesentlich von den geologischen Bedingungen bestimmt werden. Im Ergebnis aller Untersuchungen zeigte sich, dass die Ermittlung repräsentativer, schichtbezogener Permeabilitäten möglich ist. Zum AP 4 liegt ein ausführlicher Fachbericht vor.
- AP5 Für das Baumaterial lastabtragender (und evtl. dichtender) Elemente auf MgO-Basis wurden die geeigneten Mischungsverhältnisse und Inhaltsstoffe bestimmt und in kleinmaßstäblichen In-situ-Versuchen prinzipiell bestätigt. Von besonderer Bedeutung für die Vorbehandlung und für die nachträgliche Behandlung der Kontaktfuge zwischen Dammbauwerk und temperaturempfindlichem carnallitischen Gebirge hat sich ein im Rahmen des Vorhabens entwickelter kalt injizierbarer Injektionsbitumen erwiesen. Eine Patentanmeldung wurde eingeleitet. Zum AP 5 liegt ein ausführlicher Fachbericht vor.
- AP6 Die Untersuchungen zu potentiellen Dammbaustoffen (MgO-Beton) wurden weitergeführt und auf Baustoffe auf Gelbasis erweitert. Die Baustoffe auf Gelbasis werden einen Schwerpunkt der In-situ-Untersuchungen im Teil 2 des Vorhabens darstellen. Zum AP 6 liegt ein ausführlicher Fachbericht vor.
- AP7 Im Rahmen des AP wurde das Grundkonzept eines Dammbauwerkes im geschichteten Carnallit erstellt, das die Teilergebnisse der einzelnen AP in sich vereinigt. Die In-situ-Erprobung der einzelnen Elemente des Bauwerkes werden Gegenstand des Teiles 2 des Vorhabens sein. Zum AP 7 liegt ein ausführlicher Fachbericht vor.

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

Die Arbeiten zum Vorhaben wurden termingerecht abgeschlossen. Ein zusammenfassender Fachbericht befindet sich in der Erarbeitung. Die In-situ-Verifizierung der Ergebnisse erfolgt in Vorhabens teil 2.

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38670 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0952</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2002 bis 30.09.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 741.130,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Pusch	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

- Verschiedene TRIAX-Versuche an unterschiedlichem Probenmaterial (Material aus Bernburg, Salzpresslinge, Flechtinger-Sandstein)
- Fertigstellung einer Flutzelle für Salzpresslinge bzw. deviatorisch verformte Salzkerne; die Kerne können unter einem Radialdruck von bis zu 5 MPa mit einem Tracer geflutet bzw. aufgesättigt werden, dies dient der besseren Visualisierbarkeit der Wegsamkeiten bei der Nutzung der Computerröntgentomographie
- Niederbringung des mit den Projektnehmern abgesprochenen Bohrlocharrays, markscheiderische Vermessung des Arrays, Start der akustischen Langzeitmessung, Setzen des zentralen hydraulischen Elastomer-Packers und Start des Langzeitdrucktests unter geringen Gasdrücken
- Zur Untersuchung des Gasfrac-Verhalten wurden Aufreißtests an lithologisch unterschiedlichen Steinsalzproben bei verschiedenen Druckeinspannungen durchgeführt.

Aus den durchgeführten Triaxialversuchen ist zu erkennen, dass Anhydriteinlagerungen senkrecht zur axialen Belastungsrichtungen einen signifikanten Einfluss auf das Rissbildungsverhalten und die Änderung der Permeabilität haben. Das Rissystem bildet sich im Nahbereich von Anhydriteinlagerungen gegenüber ungestörtem Steinsalz deutlich verändert aus. Bei parallel zur Belastungsrichtung verlaufenden Anhydriteinlagerungen orientiert sich das Rissystem eher an der gegebenen Vorzugsrichtung und bildet sich somit parallel zu den Anhydritschichtungen aus.

Mit der angefertigten Salzpresszelle lassen sich Salzpresslinge ( $\varnothing = 60\text{mm}$ , Korn-durchmesser  $< 0,35\text{ mm}$ ) herstellen, die die gleichen Porositäts- und Permeabilitätsklassen wie natürliches Steinsalz erreichen. Aus Tracerversuchen mit Hilfe der Computertomographie ist zu erkennen, dass sich bei den Presslingen ein homogenes Porenraumsystem ausbildet. Die durchgeführten Triaxialversuche an diesen künstlich hergestellten Salzpresslingen lassen jedoch erkennen, dass das Rissbildungs- und Permeationsverhalten nicht mit dem Verhalten von natürlichem Steinsalz zu vergleichen ist.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden programmgemäß weitergeführt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0963</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheits Gesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2003 bis 31.03.2005		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 109.892,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> 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 fortgesetzt und steht vor dem Abschluss. Die in die Auswertung aufzunehmende Anzahl der Analysen wurde auf ca. 5000 begrenzt. Es wurde angestrebt, von jedem Typ und Untertyp möglichst die gleiche Anzahl von Analysen in die Datenliste aufzunehmen.

Nach den derzeitigen Erkenntnissen ist eine Erfassung des geologischen Faktenmaterials in schematische Schnitte und Grundrisse die günstigste Darstellungsweise. Sie muss aber revierweise vorgenommen werden. Damit lassen sich in einer übersichtlichen Weise die in den einzelnen Kalisalz-Abbaurevieren vorliegenden 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) ersehen. Gegenwärtig liegen vom thüringischen Werra-Kaligebiet und vom Südharz-Kaligebiet derartige Schnitte vor. Die vorliegenden und noch zu erstellenden schematischen Schnitte lassen sich aus geologischer Sicht in die Typen A – Zuflüsse aus komplett entwickeltem Salzgebirge, B – Zuflüsse aus Auslaugungsrand der Lagerstätten und C – Zuflüsse aus bruchtektonisch beanspruchtem, teils ab- und ausgelaugtem Salzgebirge gliedern. Dabei können jedem Typ weitere Untertypen gemeinsam mit chemischen Analysen zugeordnet werden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Erfassung der Lösungszuflüsse wird abgeschlossen. Die Bearbeitung der dazugehörigen geologischen Daten wird abgeschlossen. Vorbereitet wird zur Zeit die Herstellung von Schnitten und Grundrissen für die Räume Teutschenthaler-, Bernburger- und Ascherslebener Sattel sowie Staßfurt-Egelner Sattel. Mit der Beurteilung des chemischen Datenmaterials aufgrund von EQ3-Modellrechnungen wird begonnen. Danach wird sich zeigen, ob aus chemischer Sicht die Einteilung in Lösungstypen bestätigt werden kann, die bisher vorwiegend auf Beobachtungen vor Ort und den geologischen Zusammenhängen beruht.

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0973</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2003 bis 31.08.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 407.425,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> 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**

Die Kriterien zur Auswahl relevanter Abfälle, an denen die verbesserten Instrumentarien (ELISA-Versuche) getestet werden sollen, wurden festgelegt. Aus einer breiten Palette wurden vier Abfälle ausgesucht und chemisch charakterisiert. Die Auslauglösungen IP9 und IP21 wurden hergestellt. Mit diesen beiden Lösungen und den vier Abfällen wurden Kurzzeitversuche in Zentrifugenröhrchen durchgeführt um ein praktikables Ausgangs Feststoff/Lösungsverhältnis (s/f) zu ermitteln. Nur freie Lösung steht für Analysen zur Verfügung. Als Ergebnis zeigte sich, dass die ELISA-Versuche mit einem s/f von 1:1,2 begonnen werden müssen. Der erste ELISA-Versuch wurde mit einem MVA-Filterstaub und IP21 durchgeführt. In gleichmäßigen zeitlichen Abständen wurden 13 Lösungsproben entnommen und analysiert. Die Auswertung steht noch aus. Bei diesem ersten Praxistest stellten sich bauliche Unzulänglichkeiten der ELISA-Zelle heraus, die noch behoben werden müssen. Insgesamt müssen die Zellen leichter zerlegbar werden, um Reinigungsprobleme und Undichtigkeiten zu umgehen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Auswertung des abgeschlossenen ELISA-Versuchs. Beschaffung von vier neuen, verbesserten ELISA-Zellen. Beginn der Batch-Versuche mit den vier ausgesuchten Abfällen und den beiden Lösungen. Modellrechnungen zur Prognose der erwarteten Ergebnisse aus den Batch-Versuchen.

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0983</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2003 bis 31.08.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 651.132,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Hagemann	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Mittlerweile liegen Daten zu den isopiestic Messungen in den Systemen  $\text{CrCl}_3\text{-Cr}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{-K}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$  vor. Es hat sich gezeigt, dass die Gleichgewichtseinstellung sehr langsam ist. Nach vier Monaten ist noch keine Stabilisierung der chrom(III)sulfathaltigen Systeme zu beobachten. Im Gegensatz dazu scheinen die chrom(III)chlorid-Lösungen bereits im Gleichgewicht mit den eingesetzten NaCl-Stammlösungen zu sein. Hier zeigen sich jedoch geringfügige Abweichungen zu den Daten der einzigen Literaturquelle.

Die Versuche werden für mindestens zwei weitere Monate fortgesetzt. Für diesen Zeitraum können wegen begrenzter Gerätekapazität keine anderen isopiesticen Versuche begonnen werden.

Für Cu(II) ist die Datenlage ausreichend. Ergänzende Messungen werden lediglich für das System  $\text{CuSO}_4\text{-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$  benötigt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss der isopiesticen Versuche in den Systemen mit Cr(III). Isopiestic Versuche im System  $\text{CuSO}_4\text{-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ .

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 Co(II), Mn(II) und  $\text{As}_2\text{O}_3(\text{aq})$ .

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0993</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und alumosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C bis 90° C		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2003 bis 31.08.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 612.425,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Meyer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des Vorhabens ist die Erweiterung der Datenbasis für die Modellierung des geochemischen Milieus von Si- und Al-haltigen Materialien in salinaren Lösungen in einem Temperaturbereich von 30°C bis 90°C.

Es werden Parametersätze für die geochemische Modellierung durch Datenauswertung von Löslichkeits- und Titrationsmessungen entwickelt, um die Eigenschaften von Al- bzw. Si-Spezies in salinaren Lösungen bei 30°C bis 90°C voraussagen zu können. Die Leistungsfähigkeit der Parametersätze wird durch geochemische Modellierung von Auflösungsreaktionen ausgewählter Silikat- und Aluminatphasen überprüft.

Die eingesetzten experimentellen Methoden sind z. T. bereits überprüft worden und finden für die Entwicklung neuer Parametersätze Anwendung. Die geochemische Modellierung erfolgt mit EQ3/6, einem ebenfalls anerkannten Rechenprogramm zur thermodynamischen Gleichgewichtsmodellierung.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1 - Literaturrecherche

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

AP 3 - Löslichkeit einfacher Silikate und Aluminate

AP 4 - Parameterberechnung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Mit der Bestimmung der Löslichkeiten von amorpher Kieselsäure bei einer Temperatur von 65°C in Lösungen der Salze des ozeanischen Systems wurde begonnen. Die z. Z. untersuchten Systeme sind:

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

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

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1 ist zunächst abgeschlossen, eine Darstellung der Ergebnisse erfolgt im Abschlussbericht.

AP2 In dem kommenden Zeitraum sollen die Arbeiten bezüglich der Löslichkeit amorpher Kieselsäure bei höheren Temperaturen (bis 90°C) in Lösungen der Salze des ozeanischen Systems bearbeitet werden.

Neben den Untersuchungen zu der Löslichkeit von Kieselsäure sollen die Löslichkeiten von Gibbsit, Al(OH)<sub>3</sub>, im pH-Bereich >9 in den Systemen NaCl-H<sub>2</sub>O, KCl-H<sub>2</sub>O, CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O und K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O betrachtet werden. Das Verhalten von Aluminium in neutralen Lösungen wird durch Kombination von Löslichkeitsmessungen und potentiometrischen Messungen untersucht.

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

AP4 Aus den neuen, experimentell ermittelten Daten sowie aus Literaturdaten werden Pitzerkoeffizienten für die oben genannten Si- und Al-Spezies im Temperaturbereich 30°C-90°C berechnet. Alle gesammelten oder neu bestimmten Rohdaten sowie die daraus abgeleiteten Parameter für die geochemischen Modellrechnungen werden dokumentiert und zusätzlich in elektronischer Form zur Verfügung gestellt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Dr. Andreas Hampel, Kleiststraße 32, 30916 Isernhagen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1004</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 1		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 28.02.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 158.690,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Hampel	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und unterschiedlichen experimentellen Daten. In diesem Verbundvorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um mit Hilfe von Modellrechnungen die vorhandenen Stoffgesetze und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Es sollen die Phänomene Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung berücksichtigt werden. Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten
- AP3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil 1)
- AP4: Durchführung von Interim-Workshops und weiteren Treffen mit den Projektpartnern
- AP5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten
- AP6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil 2)
- AP7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner
- AP8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse
- AP9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze und Verfahrensweisen
- AP10: Ergebnis-Workshop
- AP11: Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im vorherigen Berichtszeitraum war deutlich geworden, dass noch eine Reihe verformungs- und spannungsgesteuerter Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um jedem Partner eine genauere Bestimmung der Werte der jeweiligen Stoffgesetzparameter für den gewählten Steinsalztyp Asse-Speisesalz (z2SP) in AP2 zu ermöglichen und um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Vergleichsrechnungen der Projektpartner in AP3 einbeziehen zu können. Die Durchführung dieser Versuche hat einen erheblichen Teil des aktuellen Berichtszeitraums in Anspruch genommen. Der größte Teil der geplanten Versuche konnte mittlerweile abgeschlossen werden, so dass nun eine geeignete Datenbasis für die Parameterbestimmungen und die Vergleichsrechnungen vorliegt. Einzelne zusätzliche Kriechversuche mit größerer Laufzeit wurden vor kurzem begonnen, sie werden nach deren Ende mit den in AP2 ermittelten Parameterwerten nachgerechnet werden.

Das vorliegende Teilvorhaben 1 beteiligt sich mit dem Composite-Dilatanz-Modell (CDM) an dem Stoffgesetzvergleich und verwendet für die semianalytischen Rechnungen das Programm Mathcad sowie für die 2D-Rechnungen das Finite-Differenzen-Programm FLAC (Fa. Itasca). Im Berichtszeitraum wurde ein neues umfangreiches Mathcad-Programm zur Berechnung von verformungs- und spannungsgeregelten Laborversuchen erstellt, mit dem auch die Bestimmung der Stoffgesetzparameter erfolgt. Mit diesem Programm wurden bereits einige der ausgewählten Laborversuche aus AP3 erfolgreich nachgerechnet und die Parameter für Asse-Speisesalz bestimmt (AP2). Daneben wurde eine C++-Version des CDM für seine Implementation in FLAC mit Hilfe des UDM-Moduls (für *user defined models*) erstellt, wodurch – wie Testrechnungen ergeben haben – eine erhebliche und im Hinblick auf AP3 und AP6 notwendige Steigerung der Rechengeschwindigkeit im Vergleich mit der bisher verwendeten FISH-Version des CDM in FLAC erreicht wird.

Außerdem hat sich der Autor an der Vorbereitung der beiden am 09.09. und 11.11. durchgeführten Workshops beteiligt. Auf ihnen wurden die durchgeführten Laborversuche und deren Ergebnisse besprochen. Zusätzlich haben die Verbundpartner die in ihrem jeweiligen Stoffgesetz verwendeten Konzepte der Dilatanzgrenze vorgestellt und eingehend diskutiert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Halbjahr 2005 werden zunächst weitere Modellrechnungen der ausgewählten Laborversuche aus AP3 durchgeführt und die Ergebnisse auf dem nächsten, für Anfang Februar geplanten Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert werden. Nach Vorliegen der Daten der noch laufenden Langzeitkriechversuche werden auch diese nachgerechnet und in den Vergleich einbezogen werden. Außerdem wird programmgemäß mit den Arbeitspaketen 5 und 6 begonnen werden. Auf den nächsten Workshops werden die Projektpartner auch die Diskussion über die an dem Vergleich beteiligten Stoffgesetze und die Modellierung der einbezogenen Verformungsphänomene fortsetzen.

### 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> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30631 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1014</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 2		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 28.02.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 115.855,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

Im vorherigen Berichtszeitraum war deutlich geworden, dass noch eine Reihe verformungs- und spannungsgesteuerter Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um eine genauere Bestimmung der Werte der Stoffgesetzparameter für den gewählten Steinsalztyp Asse-Speisesalz (z2SP) zu ermöglichen und um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Modellrechnungen der Projektpartner in AP2 und AP3 einbeziehen zu können. Die Durchführung dieser Versuche hat einen erheblichen Teil des aktuellen Berichtszeitraums in Anspruch genommen. Der größte Teil der geplanten Versuche konnte mittlerweile abgeschlossen werden, so dass nun eine geeignete Datenbasis für die Parameterbestimmungen in AP2 und die Vergleichsrechnungen in AP3 vorliegt. Einzelne zusätzliche Kriechversuche mit größerer Laufzeit wurden vor kurzem begonnen, sie werden nach deren Ende mit den in AP2 ermittelten Parameterwerten nachgerechnet werden.

Das vorliegende Teilvorhaben 2 beteiligt sich mit dem Composite-Dilatanz-Modell (CDM) an dem Stoffgesetzvergleich. Die Implementierung des Vorgängermodells (CM) in das neu entwickelte FE – Programm JIFE ist abgeschlossen, die Erweiterung auf CDM kann erst im Laufe des Jahres 2005 erfolgen. Es wurde mit der Modellierung der Laborversuche begonnen (AP3), diese Ergebnisse werden auf dem Workshop am 2. Febr. 2005 (BGR) vorgestellt. Als Datengrundlage für die Modellierungen in AP3 dienen die Kriechversuche, welche in der BGR und der TU Clausthal durchgeführt wurden. Im Berichtszeitraum wurden in der BGR 13 Laborversuche für das Verbundprojekt durchgeführt und 5 weitere Laborversuche begonnen.

Die Projektpartner trafen sich am 9. September zu einem von der BGR organisierten Workshop, bei dem die Ergebnisse der Laborversuche vorgestellt und gemeinsam diskutiert wurden.

Der am 11. November in Leipzig durchgeführte Workshop wurde mitorganisiert, hier wurden von der BGR die Ergebnisse der durchgeführten Versuche (AP2) vorgetragen sowie die Auswahl der Versuche für die Modellierung (AP3) diskutiert. Die im Projekt angesiedelte Stelle konnte im November 2004 mit Herr Falko Zetsche (Dipl.-Geophysiker) besetzt werden. Weiterhin wurden die jeweils aktuellen Versuchsdaten auf CD gesammelt und an die Projektpartner versandt, so dass ein einheitlicher Informationsstand für die Arbeiten im Verbundprojekt gewährleistet ist.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Zu Beginn des Jahres 2005 werden die Modellrechnungen zu den ausgewählten Laborversuchen abgeschlossen und auf dem Anfang Februar stattfindenden Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert. Im Anschluss daran werden die Arbeiten für die Arbeitspakete 5 (Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten) und 6 (Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz) begonnen. Die noch laufenden Langzeitkriechversuche werden nach deren Abschluss ebenfalls nachgerechnet und in den Vergleich der Stoffgesetze mit einbezogen.

Die Entwicklung des FE – Programms JIFE in Zusammenarbeit mit der Firma SRD, Berlin, werden weiter fortgesetzt, in Planung sind weitere Arbeiten zu dem Composite-Dilatanz-Modell. Auf den nächsten Workshops werden die Projektpartner die Diskussion über die an dem Vergleich beteiligten Stoffgesetze und die Modellierung der einbezogenen Verformungsphänomene fortsetzen.

### 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> IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1024</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 3		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 28.02.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 143.110,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Salzer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und experimentellen Daten.

In diesem Vorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um die vorhandenen Stoffgesetze mit Hilfe von Modellrechnungen und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Folgende Phänomene sollen Berücksichtigt werden: Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung.

Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Auch für die weitere Stoffgesetzentwicklung sollen sich Hinweise ergeben. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP 2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten.
- AP 3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil I).
- AP 4: Durchführung mehrerer Interim-Workshops und weiterer Treffen mit den Projektpartner. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse der Modellrechnungen durch die 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 - Erstellung eines Abschlussberichtes und Verfassen einer Veröffentlichung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im vorherigen Berichtszeitraum war deutlich geworden, dass noch eine Reihe verformungs- und spannungsgesteuerter Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um eine genauere Bestimmung der Werte der Stoffgesetzparameter für den gewählten Steinsalztyp Asse-Speisesalz (z2SP) zu ermöglichen und um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Modellrechnungen der Projektpartner in AP2 und AP3 einbeziehen zu können. Die Durchführung dieser Versuche hat einen erheblichen Teil des aktuellen Berichtszeitraums in Anspruch genommen. Der größte Teil der geplanten Versuche konnte mittlerweile abgeschlossen werden, so dass nun eine geeignete Datenbasis für die Parameterbestimmungen in AP2 und die Vergleichsrechnungen in AP3 vorliegt. Einzelne zusätzliche Kriechversuche mit größerer Laufzeit wurden vor kurzem begonnen, sie werden nach deren Ende mit den in AP2 ermittelten Parameterwerten nachgerechnet werden.

Das vorliegende Teilvorhaben 3 beteiligt sich mit dem visko-elasto-plastischen Stoffmodell und dem erweiterten Dehnungs-Verfestigungsansatz (EDVA) an dem Stoffgesetzvergleich. Im Berichtszeitraum erfolgte eine Weiterentwicklung des EDVA sowie die Nachrechnung von Laborversuchen und einzelner Kammer-Pfeiler-Systeme mit diesem Ansatz.

Weiterhin wurden sowohl die Laborversuchsdaten als auch die Untertage-Messreihen für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen (Einzelstrecke) durch das IfG an die Vertragspartner übergeben.

Außerdem hat sich das IfG an der Vorbereitung und Durchführung der beiden Workshops (09.09. und 11.11) beteiligt. Auf ihnen wurden die durchgeführten Laborversuche und deren Ergebnisse besprochen. Außerdem haben die Verbundpartner die in ihrem jeweiligen Stoffgesetz verwendeten Konzepte der Dilatanzgrenze vorgestellt und eingehend diskutiert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Halbjahr 2005 werden zunächst weitere Modellrechnungen der ausgewählten Laborversuche aus AP3 durchgeführt und die Ergebnisse auf dem nächsten, für Anfang Februar geplanten Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert werden. Nach Vorliegen der Daten der noch laufenden Langzeitkriechversuche werden auch diese nachgerechnet und in den Vergleich einbezogen werden. Außerdem wird programmgemäß mit den Arbeitspaketen 5 und 6 begonnen werden. Auf den nächsten Workshops werden die Projektpartner auch die Diskussion über die an dem Vergleich beteiligten Stoffgesetze und die Modellierung der einbezogenen Verformungsphänomene fortsetzen.

Im Teilvorhaben 3 wird die Bestimmung der Stoffgesetzparameter für das visko-elasto-plastische Stoffmodell abgeschlossen und eine C++-Version des EDVA mit Hilfe des UDM-Moduls (für *user defined models*) erstellt, wodurch – wie Testrechnungen ergeben haben – eine erhebliche und im Hinblick auf AP6 notwendige Steigerung der Rechengeschwindigkeit im Vergleich mit der bisher verwendeten FISH-Version erreicht wird.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2a, 38670 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1034</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 28.02.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 60.178,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Hou	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und unterschiedlichen experimentellen Daten. In diesem Vorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um mit Hilfe von Modellrechnungen die vorhandenen Stoffgesetze und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Es sollen die Phänomene Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung berücksichtigt werden. Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten
- AP3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil 1)
- AP4: Durchführung von Interim-Workshops und weiteren Treffen mit den Projektpartnern
- AP5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten
- AP6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil 2)
- AP7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner
- AP8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse
- AP9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze und Verfahrensweisen
- AP10: Ergebnis-Workshop
- AP11: Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im vorherigen Berichtszeitraum war deutlich geworden, dass noch eine Reihe verformungs- und spannungsgesteuerter Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um eine genauere Bestimmung der Zahlenwerte der Stoffmodellparameter für den gewählten Steinsalztyp Asse-Speisesalz (z2SP) zu ermöglichen und um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Modellrechnungen der Projektpartner in AP2 und AP3 einbeziehen zu können. Die Durchführung dieser Versuche hat einen erheblichen Teil des aktuellen Berichtszeitraums in Anspruch genommen. Der größte Teil der geplanten Versuche konnte mittlerweile abgeschlossen werden, so dass nun eine geeignete Datenbasis für die Parameterbestimmungen in AP2 und die Vergleichsberechnungen in AP3 vorliegt. An der Professur für Deponietechnik und Geomechanik der TU Clausthal sind Festigkeitsversuche an vier Prüfkörpern aus Asse-Steinsalz mit Messungen von Vertikalverformung, Dilatanz und Ult-

raschallgeschwindigkeit durchgeführt worden sowie die Versuchsergebnisse den Partnern vorgestellt bzw. zur Verfügung gestellt. Ob sie den Datenbestand für die Untersuchungen am Speisesalz ergänzen können, ist noch nicht abschließend geprüft. Das von der TU Clausthal untersuchte Material ist gegenüber dem hellen Speisesalz, welches nahezu vollständig aus Halit besteht, grau gefärbt, so dass Beimengungen von Anhydrit anzunehmen sind. Eine geologisch-mineralogische Untersuchung ist bei BGR vorgesehen. Einzelne zusätzliche Kriechversuche mit größerer Laufzeit wurden vor kurzem begonnen: sie werden nach deren Ende mit den in AP2 ermittelten Parameterwerten nachgerechnet werden.

Das vorliegende Teilvorhaben 4 beteiligt sich mit dem Stoffmodell *Hou/Lux* an dem Stoffmodellvergleich und verwendet das FEM-Programm *MISES3* (TDV Graz, Österreich). Das Stoffmodell *Hou/Lux* wurde vor fünf Jahren in das FEM-Programm *MISES3* und vor kurzem auch in das FDM-Programm *FLAC* implementiert. Zahlreiche numerische Berechnungen sind seither mit dem Stoffmodell durchgeführt worden.

Im Berichtszeitraum wurden die Parameter des Stoffmodells *Hou/Lux* für die Festigkeit, die Dilatanzfestigkeit und zum Teil auch für das Kriechverhalten in der transienten und stationären Kriechphase auf der Grundlage der vorgelegten Versuchsergebnisse bestimmt. Der vollständige Datensatz für das Stoffmodells *Hou/Lux* kann erst nach Vorliegen der Ergebnisse der noch laufenden Kriechversuche ermittelt werden.

Außerdem haben sich Mitarbeiter dieses Vorhabens (PD Hou und Dr. Düsterloh) an der Vorbereitung der beiden am 09.09. und 11.11. durchgeführten Workshops beteiligt. Auf ihnen wurden die durchgeführten Laborversuche und deren Ergebnisse besprochen. Außerdem haben die Verbundpartner die in ihrem jeweiligen Stoffmodell verwendeten Konzepte der Dilatanzgrenze vorgestellt und eingehend diskutiert.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Halbjahr 2005 werden zunächst weitere Modellrechnungen der ausgewählten Laborversuche aus AP3 durchgeführt und die Ergebnisse auf dem nächsten, für Anfang Februar geplanten Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert werden. Nach Vorliegen der Daten der noch laufenden Langzeitkriechversuche werden auch diese nachgerechnet und in den Vergleich einbezogen werden. Außerdem wird programmgemäß mit den Arbeitspaketen 5 und 6 begonnen werden. Auf den nächsten Workshops werden die Projektpartner auch die Diskussion über die an dem Vergleich beteiligten Stoffmodelle und die Modellierung der einbezogenen Verformungsphänomene fortsetzen.

#### 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 10<sup>th</sup> 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).

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> Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1044</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 28.02.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 58.278,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Rokahr	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und unterschiedlichen experimentellen Daten. In diesem Vorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um mit Hilfe von Modellrechnungen die vorhandenen Stoffgesetze und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Es sollen die Phänomene Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung berücksichtigt werden. Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten
- AP3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil 1)
- AP4: Durchführung von Interim-Workshops und weiteren Treffen mit den Projektpartnern
- AP5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten
- AP6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil 2)
- AP7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner
- AP8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse
- AP9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze und Verfahrensweisen
- AP10: Ergebnis-Workshop
- AP11: Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im vorherigen Berichtszeitraum war deutlich geworden, dass noch eine Reihe verformungs- und spannungsgesteuerter Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um eine genauere Bestimmung der Werte der Stoffgesetzparameter für den gewählten Steinsalztyp Asse-Speisesalz (z2SP) zu ermöglichen und um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Modellrechnungen der Projektpartner in AP2 und AP3 einbeziehen zu können. Die Durchführung dieser Versuche hat einen erheblichen Teil des aktuellen Berichtszeitraums in Anspruch genommen. Der größte Teil der geplanten Versuche konnte mittlerweile abgeschlossen werden, so dass nun eine geeignete Datenbasis für die Parameterbestimmungen in AP2 und die Vergleichsrechnungen in AP3 vorliegt. Einzelne zusätzliche Kriechversuche mit größerer Laufzeit wurden vor kurzem begonnen, sie werden nach deren Ende mit den in AP2 ermittelten Parameterwerten nachgerechnet werden.

Das vorliegende Teilvorhaben 5 beteiligt sich mit dem Stoffgesetz IUB-MDCF an dem Stoffgesetzvergleich und verwendet einerseits die Software Mathcad 11, andererseits das im Institut für Unterirdisches Bauen entwickelte Programm UT2D.

Im Berichtszeitraum wurde das Mathcad-Programm zur Berechnung von verformungs- und spannungsgeregelten Laborversuchen so modifiziert, dass eine Nachrechnung der ausgewählten Laborversuche am Asse-Steinsalz möglich ist. Des Weiteren dient das Programm Mathcad dazu, die erforderlichen Stoffgesetzparameter für IUB-MDCF auf der Grundlage der vorliegenden Versuche zu ermitteln.

Auf dem Workshop am 09.09.04 in Hannover wurden die ersten nachzurechnenden Laborversuche festgelegt. Das Teilprojekt 5 des Verbundvorhabens beteiligte sich an der Vorstellung und Diskussion über die verschiedenen verwendeten Konzepte der Dilatanzgrenze.

Auf dem Workshop in Leipzig am 11.11.05 wurden vom Teilprojekt 5 erste Ergebnisse zu den Kriechversuchen vorgestellt. Diese ergaben eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus den Laborversuchen. Im Rahmen des Treffens wurde festgestellt, dass das Teilprojekt 5 sowie einige andere Projektpartner einen Bedarf an Versuchen bei etwa gleicher Temperatur haben, um eine möglichst genaue Parameterbestimmung durchführen zu können.

Einige der am 11.11. auf dem Workshop in Leipzig festgelegten Versuche sind bereits erfolgreich nachgerechnet worden, des Weiteren wurden die notwendigen Stoffgesetzparameter für das Asse-Steinsalz unter Einbeziehung des Programms Mathcad bestimmt. Weiterführend wurde das am Institut für Unterirdisches Bauen entwickelte Finite Elemente Programm UT2D benutzt, um die ausgewählten Laborversuche ebenfalls nachrechnen zu können.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Halbjahr 2005 werden zunächst weitere Modellrechnungen der ausgewählten Laborversuche aus AP3 durchgeführt und die Ergebnisse auf dem nächsten, für Anfang Februar geplanten Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert werden. Nach Vorliegen der Daten der noch laufenden Langzeitkriechversuche werden auch diese nachgerechnet und in den Vergleich einbezogen werden. Außerdem wird programmgemäß mit den Arbeitspaketen 5 und 6 begonnen werden. Auf den nächsten Workshops werden die Projektpartner auch die Diskussion über die an dem Vergleich beteiligten Stoffgesetze und die Modellierung der einbezogenen Verformungsphänomene fortsetzen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

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

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1054</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 6		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 28.02.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 31.980,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Pudewills	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den vergangenen Jahrzehnten wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen ein umfangreiches experimentelles und theoretisches Know-how zur Salzmechanik erarbeitet. Auf dieser Grundlage sind mehrere fortschrittliche Stoffgesetze entwickelt und angewendet worden. Jedes dieser Stoffgesetze beruht auf bestimmten theoretischen Annahmen und unterschiedlichen experimentellen Daten. In diesem Vorhaben sollen die führenden Fachleute in enger Kooperation ihre Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen, um mit Hilfe von Modellrechnungen die vorhandenen Stoffgesetze und die Vorgehensweise bei der Parameterbestimmung zu vergleichen. Es sollen die Phänomene Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Verheilung berücksichtigt werden. Als Ergebnis soll eine Empfehlung zur Auswahl und zum Einsatz der Stoffgesetze bei künftigen Anwendungen erarbeitet werden. Die Arbeiten werden auf Steinsalz wegen seiner besonderen Bedeutung als Wirts- und Barrieregestein bei der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle ausgerichtet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop aller Projektpartner
- AP2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten
- AP3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil 1)
- AP4: Durchführung von Interim-Workshops und weiteren Treffen mit den Projektpartnern
- AP5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten
- AP6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil 2)
- AP7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner
- AP8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse
- AP9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze und Verfahrensweisen
- AP10: Ergebnis-Workshop
- AP11: Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im vorherigen Berichtszeitraum war deutlich geworden, dass noch eine Reihe verformungs- und spannungsgesteuerter Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um eine genauere Bestimmung der Werte der Stoffgesetzparameter für den gewählten Steinsalztyp Asse-Speisesalz (z2SP) zu ermöglichen und um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Modellrechnungen der Projektpartner in AP2 und AP3 einbeziehen zu können. Die Durchführung dieser Versuche hat einen erheblichen Teil des aktuellen Berichtszeitraums in Anspruch genommen. Der größte Teil der geplanten Versuche konnte mittlerweile abgeschlossen werden, so dass nun eine geeignete Datenbasis für die Parameterbestimmungen in AP2 und die Vergleichsrechnungen in AP3 vorliegt. Einzelne zusätzliche Kriechversuche mit größerer Laufzeit wurden vor kurzem begonnen, sie werden nach deren Ende mit den in AP2 ermittelten Parameterwerten nachgerechnet werden.

Die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten betrafen im wesentlichen folgenden Punkte:

- Weiterentwicklung der Rechenprogramme MAUS und ADINA, insbesondere der Einbau des erweiterten Stoffmodell von Steinsalz zur Beschreibung der volumetrischen Verformung (Dilatanz) und der Schädigung. Die Qualifizierung dieser Stoffgleichungen erfolgte ausschließlich auf der Basis von Laborversuchen, nämlich weg geregelte Festigkeitsversuche und wenigen transienten Kriechversuchen bei denen die Volumenverzerrung gemessen wurde. Der Vergleich mit den Messdaten verdeutlicht die gute Simulation der grundlegenden Phänomene im Stoffverhalten von Steinsalz.
- Die Nachrechnung von Kriechversuchen (insbesondere von Kurzzeitversuchen) zeigte, dass die im Programm MAUS vorhandenen Gleichungen zur Beschreibung von transienter Viskoplastizität noch nicht zufrieden stellend sind. Nachdem inzwischen mehrere Laborversuche vorliegen, wurde eine entsprechende Erweiterung des Stoffmodells vorgenommen. Damit wird insgesamt eine relativ gute Anpassung an die von der BGR mitgeteilten Messergebnisse erreicht.
- Die Auswertung der verfügbaren Festigkeitsversuche erforderte eine wesentliche Korrektur an der in unseren Codes gewählten Formulierung zur transienten Viskoplastizität im Nachbruchverhalten von Steinsalz. Zur Beschreibung der im Labor beobachteten Bruchphänomene wurde zuerst ein Bruchkriterium als Funktion der mittleren Spannung und der effektiven Dehnung implementiert. Die transiente Viskoplastizität im Nachbruchverhalten wird zur Zeit untersucht.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Halbjahr 2005 werden zunächst weitere Modellrechnungen der ausgewählten Laborversuche aus AP3 durchgeführt und die Ergebnisse auf dem nächsten, für Anfang Februar geplanten Workshop mit den Verbundpartnern verglichen und diskutiert werden. Nach Vorliegen der Daten der noch laufenden Langzeitkriechversuche werden auch diese nachgerechnet und in den Vergleich einbezogen werden. Außerdem wird die Arbeit zur Erfassung des post-failure-Verhaltens von Steinsalz auf der Basis von BGR zur Verfügung gestellten Versuchsergebnisse fortgesetzt. Anschließend wird programmgemäß mit den Arbeitspaketen 5 und 6 begonnen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Pudewills, A.: "Numerical modelling of the EDZ around a backfill excavation in rock salt", European Commission CLUSTER Conf., Luxembourg, November 3-5, 2003, EUR-Report, Preprint, pp. 200-204, 2003.

Pudewills, A.: "Numerical modelling of a backfilled drift in a waste repository", Proc. of the 4<sup>th</sup> 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.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99404 Weimar		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1064</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2004 bis 30.04.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 394.979,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kupfer	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Arbeitsablauf erfolgen Untersuchungen zu dielektrischen Materialeigenschaften, Feldsimulationen zur Kalibrierung von Sensoren, zur Rekonstruktion (Ortsauflösung) von Feuchte- und Dichteverteilung. Test des neuen Messverfahrens in labor- und halbtechnischen Versuchen zur Detektion der räumlichen und zeitlichen Flüssigkeitsausbreitung in Bentonitdichteelementen. Hydraulische Modellierung auf Grundlage von messtechnisch ermittelten Feuchte- und Dichteverteilungen. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse soll ein Messsystem für den Einsatz in horizontalen Verschlussbauwerken entworfen werden. Test des Messverfahrens in Verschlusselementen eines Verschlussbauwerkes in einer Strecke im Carnallitit. Weitere Anwendungen des Messverfahrens in Verschlussbauwerken in Untertagedeponien und im Endlagerbereich. Perspektivischer Einsatz in Monitoringsystemen mit implantierten Sensoren im Bauwesen, zur Signalisierung von Deichbrüchen, Lawinen und Muren, in der Landwirtschaft, zur Überwachung von Getreidesilos und zur Bestimmung der Bodenfeuchte.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP1:

Die begonnenen Arbeiten zur Entwicklung von Messverfahren und Messeinrichtungen zur Bestimmung der komplexen Permittivität (Dielektrizitätszahl) von Bentonitmaterialien über einen weiten Frequenzbereich (100kHz bis 20GHz) wurden weitergeführt:

- Dimensionierung und Entwurf konischer Koaxialmessleitungen für die Messung grobkörniger Materialien und größeren Probenmengen;
- Weiterentwicklung der Algorithmen zur Berechnung der komplexen Permittivität aus den gemessenen komplexen S-Parametern und Implementierung der Algorithmen in einem Rechenprogramm;
- Konzeption eines Messplatzes zum Erfassen der dielektrischen Eigenschaften von unterschiedlich feuchten und dichten Bentonitmaterialien, bestehend aus Netzwerkanalysator, koaxialen Messleitungen

und einem PC zur Berechnung der komplexen Permittivität auf Basis des entwickelten Rechenprogramms sowie Einrichtungen zur Probenvorbereitung und Bestimmung der gravimetrischen Eigenschaften (Feuchte, Dichte) der Materialproben.

AP2:

Die Rekonstruktion der Feuchte- und Dichteverteilung sowie die Kalibrierungen zur Feuchte- und Dichtebestimmung sind sehr zeitaufwendig, vor allem dann, wenn im Bentonitmaterial mehrere Materialparameter gleichzeitig verändert werden. Simulationen haben bei der Feuchtemessung den Vorteil, dass bestimmte Materialeigenschaften in relativ kurzer Zeit hervorgehoben oder unterdrückt werden können. Mit Hilfe des EM-Feldsimulators HFSS ist es möglich, Spezifika des TDR-Messkabels oder des Materials heraus zu filtern und Optimierungen durchzuführen.

Folgende Simulationen wurden bisher ausgeführt:

- Elektromagnetische Feldsimulationen zur Feuchte- und Dichtebestimmung auf Basis der verwendeten TDR-Messkabel und der gemessenen komplexen Permittivität von unterschiedlich feuchten und dichten Bentonitmaterialien;
- Modellentwicklung für die Simulation mit HFSS zur orts aufgelösten Rekonstruktion von Feuchte- und Dichteverteilungen aus den gemessenen TDR-Messsignalverläufen;
- Simulation eines zweiseitig beschalteten TDR-Messkabels zur Überprüfung inwieweit neben den bisher verwendeten Reflexionsfaktor  $S_{11}$  (einseitig beschaltetes Messkabel) die Berücksichtigung anderer Messgrößen zur besseren Quantifizierung von Feuchte und Dichte dienen kann.

AP6:

Versuchsvorbereitung für einen Druckversuch im dafür umgebauten und mit Druckmesssensoren ausgerüsteten MFPA-Druckversuchsstand für die Untersuchung zur Korrelation zwischen TDR-Messsignal und der Druck/Dichteverteilung in einem mit max. 40bar Wasserdruck beaufschlagten Bentonitverschluss.

AP9:

Für das Messgerätesystem für den Untertageinsatz wurde ein TDR-Messkabel mit längendefinierten dielektrischen Markierungen zur Vereinfachung der Rekonstruktion orts aufgelöster Feuchteprofile aus den gemessenen TDR-Signalen konzipiert.

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

AP1: Bau und Erprobung der konischer Koaxialmessleitungen für die Messung grobkörniger Materialien und größeren Probenmengen.

Realisierung des Messplatzes zum Erfassen der dielektrischen und mechanischen Eigenschaften von Bentonitmaterialien.

Messen der komplexen Permittivität von unterschiedlich zusammengesetzten und strukturierten Bentonitproben in Abhängigkeit von Feuchte und Dichte.

AP2: Simulation der TDR-Messkabel mit und ohne längendefinierten dielektrischen Markierungen und Begleitung der Simulation durch entsprechende Laborversuche.

Kalibriersimulation und vergleichende Laborversuche (s. AP3) mit unterschiedlich feuchten und dichten Bentonitproben, deren dielektrische und mechanische Eigenschaften zu vor auf dem Bentonitmessplatz ermittelt wurden.

AP6: Versuchsdurchführung und Auswertung des Druckversuchs im umgebauten und mit Druckmesssensoren ausgerüsteten MFPA-Druckversuchsstand

AP7: Vorbereitung der halbtechnischen Versuche mit dem 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> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30631 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1074</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2004 bis 31.03.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 405.816,00,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Eisenburger	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die erhöhte Anforderung, umweltbelastende Stoffe sicher zu lagern, erfordert die Errichtung sicherer untertägiger Deponien. Aufgrund der begrenzten Sicherheit technischer Barrieren, ist es wichtig natürliche geologische Barrieren zu finden, die langfristig sicherer sein können. In diesem FV soll eine neue Radar-Bohrlochsonde entwickelt werden, mit der aus einer allein stehenden Bohrung räumliche Informationen über das anliegende Gebirge gewonnen werden. Die Entwicklung geht von einem bekannten Bohrlochsystem aus. Zuerst werden die HF-Komponenten (Sende- und Empfangsantenne) auf die Möglichkeit ihrer Verbesserung untersucht, um anschließend neue Radarverfahren auf ihre Eignung als richtungssensitives Bohrlochmessverfahren zu untersuchen. Weiterhin wird durch verbesserte Algorithmen eine schnelle Verarbeitung der Messdaten angestrebt.

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

Das Forschungsvorhaben ist ein Verbundvorhaben an dem sich folgende Institutionen beteiligen:

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Fachgruppe Geophysikalische Forschung, Ref. Geophysik für das Ressourcenmanagement.
- Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Wuppertal
- Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen Monitoring und Geomesssysteme, Mines and More Division
- 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**

Um die Arbeiten der im Verbundvorhaben beteiligten Institutionen rechtlich abzustimmen war die Erstellung einer Kooperationsvereinbarung erforderlich. Diese wurde fristgerecht am 23.08.2004 dem Projektträger übermittelt.

Für die im Teilvorhaben III benötigten Fachkräfte konnten zeitgleich die Ausschreibungen zur Besetzung der Stellen vorgenommen werden. Die Stelle der wissenschaftlichen Fachkraft konnte am 1 November 2004 mit Herr Dipl. Geophys. Dennis Otto besetzt werden. Die Ausschreibung für die Stelle der technischen Fachkraft (Elektrotechniker/Informatiker FH) war nicht erfolgreich, so dass die Stelle noch nicht besetzt werden konnte. Die Wiederholung der Ausschreibung wird z. Z. vorgenommen.

Die ersten Wochen wurden von Herr Otto genutzt sich der Problematik der räumlichen Auswertung von Georadar Bohrlochmessungen vertraut zu machen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Einstellung einer technischen Fachkraft.

Erstellung eines Konzeptes der Homogenisierung der Auswertung von Georadar Bohrlochmessdaten.

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42097 Wuppertal		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1084</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2004 bis 31.03.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 587.696,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Chaloupka	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das an der Bergischen Universität Wuppertal durchgeführte Teilvorhaben wird in Kooperation mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover und der Deutschen Montantechnologie GmbH (DMT) in Essen durchgeführt. 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: Untersuchungen von Antennen und Signalmodi

Die Qualität der rekonstruierten räumlichen Information über die zu untersuchende geologische Struktur wird wesentlich durch die Eigenschaften des Mehrtor-Antennensystems und seines Zusammenwirkens mit dem Empfänger-Frontend beeinflusst. Hierbei sind für Antennen mit azimuthaler Richtwirkung den prinzipiell erzielbaren Werten einiger relevanter Parameter durch die Beschränkungen aufgrund des Bohrlochdurchmessers enge Grenzen gesetzt. Das Hauptziel der im Berichtszeitraum durchgeführten konzeptionellen Arbeiten war die Evaluierung neuartiger Maßnahmen zur Verbesserung der Systemeigenschaften trotz der oben genannten engen physikalischen Grenzen. Als Ergebnis wurde ein Konzept für ein Antennensystem gefunden, bei dem durch eine vergrößerte Antennenlänge und eine in Längsrichtung veränderte Antennenstruktur sowohl der Strahlungswirkungsgrad erhöht, als auch eine für die Richtungsbestimmung vorteilhaftere Richtcharakteristik erzielt wird. Der erhöhte Wirkungsgrad führt zu einem verbesserten Signal/Rausch-Verhältnis, und die verbesserte Richtcharakteristik reduziert Fehlereinflüsse durch Depolarisierungseffekte bei der Rückstreuung an geologischen Inhomogenitäten. Die theoretischen Untersuchungen zeigten weitere wesentliche Verbesserungspotentiale über adaptiv rekonfigurierbare Antennensysteme, wobei die Rekonfigurierbarkeit sowohl Maßnahmen zur Umschaltung des Frequenzbereichs als auch zur zeitvariablen, entfernungsabhängigen Veränderung der Empfindlichkeit auf Kosten der Tiefenauflösung umfasst. Zur Ermöglichung experimenteller Antennenuntersuchungen wurde ein „Testbett“ entworfen und seine Fertigung in Auftrag gegeben. Das Bohrlochradarsystem kann im Prinzip mit Hilfe unterschiedlicher „Signalmodi“, also z.B. mit Pulsen kurzer zeitlicher Länge und hohen Amplituden, mit bandgespreizten breitbandigen Impulsen moderater Amplitude oder als "Stepped-Frequency"-Verfahren mit CW-Messungen realisiert werden. Als Ergebnis vergleichender Untersuchungen wurde die Entscheidung zugunsten von Impulsverfahren getroffen, da hierbei die sich aus dem Nah-Fern-Problem ergebenden Dynamikanforderungen über periodisch veränderte Verstärkerdaten (z.B. "sensitivity time control") vorteilhaft gelöst werden können.

AP2: Feldtheoretische Modellierungen

Die durchgeführten Arbeiten lassen sich grob in zwei Teilbereiche gliedern: (1) Untersuchung vorhandener numerischer Verfahren auf ihre Tauglichkeit für die vorhandene Problemstellung und (2) analytische und numerische Untersuchungen zu den Greenschen Funktionen einer zylindersymmetrischen, mehrschichtigen Anordnung.

In (1) wurde untersucht, ob vorhandene numerische Programmpakete bei der Simulation sehr stark resonanter Antennen übereinstimmende Ergebnisse liefern. Dafür wurden zwei kommerzielle Programmpakete (FEKO und MININEC), die jeweils auf Integralgleichungsverfahren für dünne Drahtstrukturen basieren, sowie drei selbst entwickelte Programmpakete verwendet. Bei diesen handelte es sich um ein Integralgleichungsverfahren für Patch-Antennen sowie um zwei Integralgleichungsverfahren für dünne Drahtstrukturen in Frequenz- und Zeitbereichsdarstellung. Ersteres soll durch Implementierung der entsprechenden Greenschen Funktionen für die Simulation von Antennen in zylindersymmetrischen, geschichteten Strukturen eingesetzt werden. Letzteres soll in Kombination mit der FDTD für die Untersuchung von Antennen mit beliebig inhomogenen Körpern in der Nähe der Antenne verwendet werden. Vor der Erweiterung dieser Verfahren wurde zunächst ihre Eignung für Untersuchungen im homogenen Raum untersucht, um sicherzugehen, dass die Grenzen der Verfahren nicht bereits bei der Simulation stark resonanter Antennen im homogenen Raum erreicht sind. Bis auf MININEC, das bei der Simulation stark resonanter Antennen keine physikalisch sinnvollen Ergebnisse lieferte, wurden mit den anderen Programmen sehr gut übereinstimmende Ergebnisse erzielt. Für eine spezifische Rahmenantenne lagen die Abweichungen der Resonanzfrequenz deutlich unter 1%, während die ermittelten Bandbreiten nahezu identisch waren. Bezüglich der Resonanzfrequenz lieferte nur das Integralgleichungsverfahren für Patch-Antennen deutlich abweichende Ergebnisse um 1%, was jedoch mit der unterschiedlichen Modellierung der Antenne erklärbar war.

In (2) wurden die Reflexions- und Transmissionsmatrizen für Schichtprobleme mit einer beliebigen Anzahl von Schichten programmiert. Durch eine Überprüfung der Stetigkeitsbedingungen des elektrischen Feldes wurde die numerische Umsetzung der Reflexions- und Transmissionsmatrizen überprüft. Unter Kenntnis der Reflexionsmatrizen konnte das Feld eines Dipols berechnet werden. Hauptproblem bei der numerischen Umsetzung war dabei die Realisierung und Spezialisierung der Zylinderfunktionen für beliebige (komplexe) Argumente und eine effektive Behandlung von Singularitäten.

AP3: Vergleich von Konzepten Analog-Digitalelektronik

Da für die Empfindlichkeit und Dynamik des Empfängers der A/D-Wandler eine einschneidende Begrenzung darstellt, wurden im Berichtszeitraum die hier interessierenden dynamischen Eigenschaften verfügbarer A/D-Wandler messtechnisch ermittelt. Hierzu wurde eine Labor-Messeinheit bestehend aus einem schnellen hochauflösenden A/D-Wandler AD9245 von Analog Devices und einem Virtex II Pro-Evaluation Kit von Xilinx (Programmierbare Logikeinheit) eingesetzt. Um eine hohe effektive Auflösung bei einer Abtastfrequenz von  $10^9$  Samples pro Sekunde zu erzielen, wurde die „Interleaved Sampling“-Methode angewandt. Dazu wurden die im Virtex II Pro integrierten Takt-Manager (Digital Clock Manager) zur Feinabtastung benutzt. Zur schnellen Datenübertragung bieten sich einige Alternativen. In unserem Testaufbau wurde zur Datenübertragung eine USB-Schnittstelle mit dem Baustein FT245 von FTDI mit einem effektiven Durchsatz von 1,6 MBits/s eingesetzt. Ein Analyseprogramm zur Auswertung der Messdaten in Bezug auf das S/N-Verhältnis sowie nichtlineare Verzerrungen wurde in Visual C++ entwickelt. Erste Messungen für eine Abtastungsfrequenz von 50 MHz und ein Eingangssignal von 1 MHz ergaben ohne Stapelung ein S/N-Verhältnis von 72 dB (entsprechend ca. 12 Bit). Bei einer Stapelungszahl von 32 ergab sich eine Verbesserung um 14 dB (entsprechend ca. 14,5 Bit) und bei einer 64-fachen Stapelung ca. 15 Bit.

**4. Geplante Weiterarbeiten**

AP1: Im nächsten Schritt sollen Labormuster von Antennensystemen und das „Testbett“ in verschiedenen „Komplexitätsstufen“ aufgebaut und experimentell verifiziert werden. Dabei wird mit der einfachsten Antennenversion begonnen und diese in modularer Weise schrittweise erweitert. Ferner sollen Systemstudien zum Einfluss der Antennenparameter auf die Qualität der Endergebnisse des geophysikalischen Abbildungsverfahrens fortgesetzt und vertieft werden.

AP2: Die Genauigkeit der Berechnung von stark resonanten Antennen mittels der FDTD wird sowohl mit einem kommerziellen Programm (CST Microwave Studio) als auch mit selbst entwickelten Programmpaketen weiter untersucht. Es ist zu prüfen, ob ggf. eine Erweiterung der FDTD nötig ist, da diese konzeptbedingt für Antennenberechnungen weniger gut geeignet ist. Weiterhin ist zu prüfen, wie die implementierte Darstellung des elektrischen Feldes in einer Schichtstruktur verifiziert werden kann. Nach der Verifikation soll dann diese Darstellung zur Modifikation der im Integralgleichungsverfahren für dünne Drahtstrukturen implementierten Greenschen Funktionen genutzt werden. Dadurch wird es möglich, den Einfluss einer geschichteten Umgebung auf die Eingangsimpedanz von Antennen zu berücksichtigen.

AP3: Im nächsten Schritt sollen mit der „Interleaved Sampling“-Methode applikationsnahe Signale gemessen werden. Das 50 MHz Testsignal wird mit einem aktiven gedämpften LC-Schwingkreis generiert. Um eine effektive Auflösung von 12 bit ohne Stapelung zu erhalten, ergeben sich hohe Anforderungen an den Clock-Jitter. Zurzeit werden Methoden zur Erzeugung ausreichend stabiler Clocksignale untersucht.

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Deutsche Montan Technologie GmbH, Am Technologiepark 1, 45291 Essen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1094</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2004 bis 31.03.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 395.241,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Althaus	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die erhöhte Anforderung, umweltbelastende Stoffe sicher zu lagern, erfordert die Errichtung sicherer untätiger 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.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

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

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

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

Das Teilvorhaben „Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit“ befindet sich gemäß Zeitplan in der Vorbereitungsphase. Es gliedert sich in die beiden Arbeitspakete:

AP1: Entwicklung und Bau der Bohrlochsonde

AP2: Entwicklung und Bau der Datenerfassungseinheit

Im vergangenen Berichtszeitraum hat die DMT bei der Planung / Konzeption des Messkonzeptes mitgewirkt. Die Arbeiten umfassten außerdem die Zusammenstellung von exemplarischen Datensätzen verschiedener Radarmessungen sowie die Darstellung der zurückliegenden Entwicklungen im Radarbereich.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Planung des Mess- und Sondenkonzeptes sowie Grundlagenuntersuchungen.

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99421 Weimar		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1104</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.08.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 343.086,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Schanz	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei diesem Vorhaben handelt es sich um eine Fortsetzung des Vorhabens *Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement* (Abschluss 7/2004). Lag der Schwerpunkt der Arbeiten bisher bei der experimentellen und theoretischen Behandlung des gekoppelten hydraulischen und mechanischen Verhaltens, so werden hier Fragen der thermischen und chemischen Kopplung mit den mechanischen und hydraulischen Phänomenen betrachtet. Einen zweiten Schwerpunkt bilden die Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Tonen. Die bisher beschriebenen physikalischen Phänomene umfassen das gekoppelte hydraulische (Permeabilität, Kapillardruck-Sättigungsbeziehung) mechanische (Quelldruck, Steifigkeit) Verhalten. Darüber hinaus besteht jedoch eine signifikante Evidenz für die notwendige Berücksichtigung zusätzlicher physikalischer Effekte (Temperatur, Kriechen und Alterung).

Im Gegensatz zur bisher ausschließlichen Betrachtung von so genannten *Elementversuchen* sind für die Phase II ergänzend Versuche im Technikumsmaßstab notwendig (Temperatureinflüsse).

Die Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit des konstitutiven Verhaltens erfolgt sowohl bei den theoretischen, numerischen als auch bei den experimentellen Arbeitsschwerpunkten.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

(1) Zentraler Inhalt der experimentellen Untersuchungen ist die Untersuchung und Charakterisierung des Einflusses der Temperatur (wiederholte Aufsättigungs-/Trocknungs-Zyklen) auf die konstitutiven Eigenschaften (Struktur/Porengrößenverteilung/Mikrorisse/Permeabilität, Quellen) des Dichtelements (hochverdichtete Bentonit-Sand-Mischung). Dies geschieht im Bezug zur Frage der Langzeitstabilität der Gesamtkonstruktion Verschlussbauwerk

(2) Ermittlung der teilgesättigten Permeabilität (in Abhängigkeit von der Saugspannung) von Bentonit-Sand-Mischungen

(3) Untersuchung des Zeitverhaltens (Kriechen, Alterung, Phasenübergänge) von Bentonit-Sand-Mischungen

(4) Untersuchung des Zusammenhangs zwischen konstitutiven Eigenschaften und der Mikrostruktur (Quecksilberporosimetrie, ESEM-Analyse), Anteil der verschiedenen Porensysteme an der hydraulischen Permeabilität

- (5) Klärung des Begriffs der Saugspannung bei hochverdichteten Tonen, Einfluss des osmotischen Drucks und dessen Berücksichtigung im numerischen Modell
- (6) Anwendung der DDL zur Beschreibung des Kompressionsverhaltens von hochverdichteten Sand-Bentonit-Mischungen unter hohen Drücken

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

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

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

Die theoretischen Arbeiten beschäftigten sich mit der Frage der Kompressibilität von Tonen unter niedrigen und sehr hohen Drücken. Außerdem wurde der Einfluss der Saugspannung auf das Volumenverhalten theoretisch untersucht. Beide Arbeiten erfolgten auf Grundlage der DDL-Theorie. Zu beiden Themen wurden Publikationen erarbeitet, die sich zurzeit im „Review“ befinden.

### **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> Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09596 Freiberg		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1124</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 31.03.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 642.644,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Kudla	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens ist, geeignete Materialien und neuartige konstruktive Lösungen zu finden, mit denen zu bereits bekannten Bentonitdichtelementen weitere Dichtelemente zu einem redundanten Dichtsystem realisiert werden können, so dass das Gesamtsystem auch bei relativ schnell auftretender Flüssigkeitsdruckbelastung oder eventuell wechselndem Chemismus seine Dichtfunktion, einschließlich der Impermeabilisierung des aufgelockerten, ausbruchsnahen Bereiches, erfüllt.

Wird dieses Dichtelement aus Bitumen, Asphalt, Asphaltbeton, Gussasphalt o. ä. hergestellt, erreicht man aufgrund der prinzipiell völlig anderen Dichtmechanismen von Bitumen zum Gebirge und zu wässrigen Lösungen sowie der absoluten Flüssigkeitsdichtheit dieser Materialien zusätzlich ein diversitäres Dichtsystem.

Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit solcher Dichtsysteme soll durch halbtechnische Versuche bei unterschiedlichen Belastungsszenarien erfolgen.

Ergänzt werden die Materialuntersuchungen mit Untersuchungen zur Bildung von Mikrorissen in Salzbeton und Solebeton. Dazu werden neue mikromechanische Modelle unter Berücksichtigung des Hydratationsverhaltens und unterschiedlicher Zuschlagstoffe entwickelt und experimentelle Arbeiten durchgeführt. Das Ziel dieser Arbeiten 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: Auswertung der Literatur, Systematisierung des Grundaufbaus kombinierter Ton – Bitumen/Asphalt – Dichtungen in vertikalen und horizontalen Verschlussbauwerken. Mit kombinierten Dichtelementen aus Ton – Bitumen/Asphalt sind bereits einige Schachtverschlüsse realisiert worden. Für Streckenverschlüsse besteht dagegen großer FuE-Bedarf.
- AP 2: Auswertung der Literatur zur Rissbildung im Beton. Erste Grundvorstellungen der Modellentwicklung zur Rissbildung infolge Hydratation.
- AP 3: Formulierung grundlegender Anforderungen. Versuche zur Materialauswahl und Injektionsversuche im Spaltmodell zum Verpressen von Feinstzement mit NaCl-Lösung. Für die Bewertung des Materialverhaltens von Asphalt-dichtelementen sind spezielle Untersuchungsverfahren zu entwickeln.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP 1: Fertigstellung des Zwischenberichtes.
- AP 2: Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Hydratationswärme und Rissbildung in unterschiedlichen Betonmischungen (mikromechnische Betrachtungen).
- AP 3: Fertigstellung des Zwischenberichtes.

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2a, 38670 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1134</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2004 bis 30.06.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 424.188,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Langefeld	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

Im Berichtszeitraum wurden Arbeiten aus dem Arbeitspaket 1 durchgeführt. Es wurde auf dem Forschungsbergwerk Asse ein Vorversuch durchgeführt. Ziel dieses Versuches war es erste Erfahrungen mit der Blastechnologie 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 den Gebr. Knauf Westdeutsch Gips, Iphofen und dem Kaliverein e.V., Kassel 80 Tonnen Baustoff zur Verfügung gestellt. Dieser wurde aus den einzelnen Komponenten zusammengemischt, in Big Bags abgefüllt und nach unter Tage verbracht.

Es wurde die Maschinenteknik bestehend aus Druckversorgung, Baustoffversorgung, Blasmachine, Dosiereinrichtung und Austragstechnik installiert und in einem Streckenstummel ein Dammbauwerk errichtet. Der verwendete Baustoff ist am Institut für Bergbau an der Technischen Universität Clausthal entwickelt und im Labor auf seine Eignung als Dammbaumaterial überprüft worden (Helmut Mischo, Dissertation TU Clausthal, 2002). Versuchsbegleitend wurden Proben vom Baustoff genommen, um Angaben über die Festigkeit und das Hydratationsverhalten des Calciumsulfat-Steinsalz Baustoffes unter In-situ-Bedingungen zu erhalten. Nach Abschluss des Versuches wurden Kerne gezogen und ihre Festigkeit sowie Restfeuchte und Hydratationsgrad bestimmt.

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 Baustoffförderrate über ein Dosierventil vor der Benetzungsdüse eingestellt werden. Bei Einhaltung einer ausreichenden Entfernung des Blasaustrages vom Dammbauwerk ist mit keinen Beeinträchtigungen durch Rückprall zu rechnen. Durch die hohe Austragsgeschwindigkeit ist die Einbringdichte nach visueller Begutachtung und ersten Festigkeitsuntersuchungen als ausreichend einzustufen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im nächsten Berichtszeitraum soll ein zweiter Abschnitt des Vorversuchs absolviert werden. Dazu wird die eingesetzte Technik modifiziert. Es wird mit einer alternativen Benetzungsdüse ein Vergleichsversuch durchgeführt werden, um weitere Erfahrungen im Zusammenhang mit der Benetzung des Baustoffes zu sammeln. Ebenfalls wird eine alternative Blasmachine zum Einsatz kommen, um neben dem Hauptaspekt ein den geforderten Randbedingungen entsprechendes Dammbauwerk zu errichten, auch eine Optimierung im Bereich der Staubbekämpfung zu erreichen und auf diese Weise die Praktikabilität der Technologie zu erhöhen. Während dieser zweiten Versuchsphase sollen auch erste Erfahrungen mit einer ausgewählten Messtechnik unter In-situ-Bedingungen gesammelt werden. Im Falle des erfolgreichen Abschlusses des ersten Arbeitspaketes soll in Vorbereitung des zweiten und dritten Arbeitspaketes eine weitere Charge Baustoff angemischt und in das Forschungsbergwerk Asse verbracht werden.

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1144</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-FZR)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 30.09.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 197.205,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Brendler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken (SODA [GRS] und RES<sup>3</sup>T [FZR]) zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES<sup>3</sup>T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

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

Die Konvergenz der Tabellenstruktur und der internen Beziehungen der beiden Datenbanken wurde hergestellt. Zur Erweiterung der Funktionalität sind erste Absprachen getroffen worden.

**AP2:** Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces

Arbeitsgrundlage für das Datenbankmanagementsystem der neuen DB wird PostgreSQL mit PHP-Interface sein. Die RES<sup>3</sup>T-Datenbank wurde in SQL-Format konvertiert.

**AP3:** Erweiterung des Datenbestandes

Mit der Sichtung vorhandener Literatur, der Auswertung und Dokumentation wurde begonnen. Gleichzeitig wird kontinuierlich neue Literatur (Zeitschriftenartikel, Dissertationen u.a.) erfasst.

**AP4:** Experimentelle Schließung von Datenlücken

In SODA und RES<sup>3</sup>T derzeit vorhandene Datendefizite vor allem in Hinblick auf die Vollständigkeit relevanter Wirts- und Barrieregesteine (SODA) bzw. gesteinsbildender Mineralphasen (RES<sup>3</sup>T) wurden identifiziert. Die experimentellen Details für Batch- und Sorptionsversuche wurden zwischen GRS und FZR abgestimmt. Es wurden erste Batchversuche im Muskovit- bzw. Quarzsystem (Sorptions von Uran) durchgeführt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP1:** Weitere Analyse der Datenbestände und der diesen zugrunde liegenden Primärdaten; Aufbau einer geeigneten ISDA-Datenbankstruktur auf Basis von SODA und RES<sup>3</sup>T, die eine hohe Flexibilität bei der Beschreibung der Proben und bei der Abbildung physikochemischer Prozesse gewährleistet.

**AP2:** Installation des ISDA-Prototypen auf einem Webserver, Entwurf von Abfragen der Datenbank.

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

**AP4:** Auswertung der bisherigen Messungen und 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> Deutsche Montan Technologie GmbH, Am Technologiepark 1, 45291 Essen		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1154</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 30.09.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 88.492,50 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Klinger	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken SODA [GRS] und RES<sup>3</sup>T [FZR] zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES<sup>3</sup>T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

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

Im Rahmen einer Bestandsaufnahme wurden die Inhalte der beiden bestehenden Datenbanken sowie die den Daten zugrunde liegenden spezifischen experimentellen Methoden einander gegenübergestellt und verglichen. Darauf aufbauend erfolgte eine Ermittlung von gemeinsamen chemisch-funktionellen Grundlagen der SCM- und Isothermen-Daten als Schnittstelle zur Konvergenz der Datenbankinhalte.

Es wurden Möglichkeiten geprüft, diese internen Datenbeziehungen in eine geeignete ISDA-Datenbankstruktur zu überführen. Eng damit verknüpft wurde eine Konzept für weiterführende Versuche erstellt, die eine Konvergenz von SODA- und RES<sup>3</sup>T-Daten auf Basis der zugrundeliegenden Sorptionsmechanismen unterstützen

**AP3:** Erweiterung des Datenbestandes

Zum Abgleich der strukturellen Vorgehensweise erfolgte eine Auswertung von Literatur zu anderen vorhandenen Sorptionsdatenbanken. Zur Nutzung vorhandener Datenbestände wurde eine Recherche zu experimentellen Ansätzen und für verschiedene Feststofftypen verfügbaren Daten durchgeführt, die eine Datenkonvergierung ermöglichen. Zur diesbezüglichen Auswertung erscheinen derzeit insbesondere zusammen mit Batchversuchen durchgeführte Säulenexperimente zielführend.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

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

Weitere Analyse der Datenbestände und der diesen zugrunde liegenden Primärdaten.

Entwicklung einer Datenbankstruktur, die die spezifischen Charakteristika der beiden vorhandenen Datensätze unter Berücksichtigung der prozessbestimmten Zusammenhänge zusammenführt..

**AP3:** Erweiterung des Datenbestandes

Fortsetzung der Literaturrecherche und Datenerfassung.

Aufbereitung und Nachauswertung vorhandener Daten.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1164</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 30.09.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 337.157,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Brassler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken (SODA [GRS] und RES<sup>3</sup>T [FZR]) zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES<sup>3</sup>T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

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

Die Konvergenz der Tabellenstruktur und der internen Beziehungen der beiden Datenbanken wurde hergestellt. Zur Erweiterung der Funktionalität sind erste Absprachen getroffen worden. Zur Überprüfung und ggf. Vervollständigung und Anpassung der zu entwickelnden Datenbankstruktur werden existierende SDB herangezogen.

**AP2:** Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces

Arbeitsgrundlage für das Datenbankmanagementsystem der neuen DB wird PostgreSQL mit PHP-Interface sein.

**AP3:** Erweiterung des Datenbestandes

Mit der Sichtung vorhandener Literatur, ihrer Auswertung und Dokumentation sowie mit Recherchen neuer Literatur (Reports, Zeitschriftenartikel, Dissertationen u. a.) und bereits existierender Datenbanken wurde begonnen.

**AP4:** Experimentelle Schließung von Datenlücken

In SODA und RES<sup>3</sup>T derzeit vorhandene Datendefizite vor allem in Hinblick auf die Vollständigkeit relevanter Wirts- und Barrieregesteine (SODA) bzw. gesteinsbildender Mineralphasen (RES<sup>3</sup>T) wurden identifiziert. Die experimentellen Details für Batch- und Sorptionsversuche wurden zwischen GRS und FZR abgestimmt. Erste Batchversuche mit einem Muskovit-Quarz-System (Sandstein) bzw. einem Granitsystem dienen in erster Linie der Konvergenz von SODA bzw. RES<sup>3</sup>T.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP1:** Weitere Analyse der Datenbestände und der diesen zugrunde liegenden Primärdaten; Aufbau einer geeigneten ISDA-Datenbankstruktur auf Basis von SODA und RES<sup>3</sup>T, die eine hohe Flexibilität bei der Beschreibung der Proben und bei der Abbildung physikochemischer Prozesse gewährleistet.

**AP2:** Installation des ISDA-Prototypen auf einem Webserver, Entwurf von Abfragen der Datenbank.

**AP3:** Kontinuierliche Erfassung, Auswertung 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> EnviCon Dr. Veerhoff & Scherschel GdR, Staffelgasse 15, 53347 Alfter		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1174</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-EnviCon)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 30.09.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 231.985,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Veerhoff	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken (SODA [GRS] und RES<sup>3</sup>T [FZR]) zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES<sup>3</sup>T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

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

Die bestehenden Datenbanken SODA und RES<sup>3</sup>T wurden zunächst hinsichtlich struktureller und methodischer Inhalte (SCM- und Isothermen-Daten) verglichen. Auf Basis der Gemeinsamkeiten wurden mögliche Vorgehensweisen zur Übertragung der SODA- und RES<sup>3</sup>T-Strukturen in ein geeignetes Datenmodell für ISDA entwickelt. Zur Überprüfung und ggf. Vervollständigung und Anpassung der zu entwickelnden Datenbankstruktur wurden existierende Sorptionsdatenbanken und numerische Transportmodelle herangezogen.

**AP2:** Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces

Arbeitsgrundlage für das Datenbankmanagementsystem der neuen DB wird PostgreSQL mit PHP-Interface sein.

**AP3:** Erweiterung des Datenbestandes

Mit der Sichtung vorhandener Literatur und bereits existierender Datenbanken, ihrer Auswertung und Dokumentation sowie mit Recherchen neuer Literatur (Zeitschriftenartikel, Projektberichten, Dissertationen u. a.) wurde begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP1:** Der Aufbau der ISDA auf Basis von SODA und RES<sup>3</sup>T erfolgt mit einer streng normierten Datenbankstruktur, wodurch eine hohe Flexibilität bei der Beschreibung der Proben und bei der Abbildung physikochemischer Prozesse gewährleistet wird.

**AP2:** Entwicklung und Gestaltung einer PHP-basierten Benutzerschnittstelle, Installation des ISDA-Prototypen auf einem Webserver.

**AP3:** Kontinuierlich erfolgt Erfassung, Auswertung und Dokumentation vorhandener und neuer Literatur.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastraße 27c, 80007 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1184</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.01.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.08.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 469.877,50 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kühnicke	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Erkundung und Bewertung der Auflockerungszonen um bereits existierende Hohlräume in bergmännisch genutzten Grubengebäuden sind vor allem bei der Vorbereitung des Einbaus von Verschlussbauwerken wichtige Voraussetzungen für detaillierte Planungen und qualifizierte Langzeitsicherheitsnachweise von Endlagern und Untertagedeponien.

Das Verbundvorhaben hat die Entwicklung und den In-situ-Test eines Messsystems aus aktiven akustischen und elektromagnetischen Verfahren zur hochauflösenden zerstörungsfreien Strukturerkundung und Kennwertermittlung in Saumzonen um Bergbauhohlräume zum Ziel. Dabei liegt der Schwerpunkt auf einer Detailerkundung der ersten Meter um einen Hohlraum herum, mit dem Ziel einer hohen räumlichen Auflösung. Das Vorhaben wird im Verbund mit der TU Ilmenau, Fachgebiet elektronische Messtechnik, durchgeführt, die den Einsatz eines Vielkanal-Breitband-Radarsystems für diese Aufgabe übernimmt (Förderkennzeichen: 02C1194).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Arbeitspunkt 1:* Modellrechnungen zur Ausbreitung akustischer Wellen in der gradienten Saumzone
- Arbeitspunkt 2:* Vorversuche im Labor und im Bergwerk zur Anpassung und Weiterentwicklung der Hardware und Auswahl der am besten geeigneten Messkonfiguration
- Arbeitspunkt 3:* Kombination der aktiven akustischen und elektromagnetischen Verfahren zur Charakterisierung des Auflockerungszustandes in der Saumzone, Datenverarbeitung und Entwicklung gemeinsamer Interpretationstechniken
- Arbeitspunkt 4:* Validierung der Messergebnisse des Verfahrenskomplexes an den Daten von Permeabilitäts- und Verformungsmessungen
- Arbeitspunkt 5:* Anwendung der aktiven Wellenverfahren zur Langzeitüberwachung bergbauinduzierter Auflockerung und Verformung des Gebirges
- Arbeitspunkt 6:* Auswertung und Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

*Arbeitspunkt 1:* Es erfolgten Modellrechnungen zur Aufstellungsgeometrie.

*Arbeitspunkt 2:* An einem Steinsalzblock im Labor des IZFP wurden Messungen zur Optimierung der Messkonfiguration mit unterschiedlichen Sendempfangsprüfköpfen, Signalformen, -Frequenzen, Ankopplungsarten und Messgeometrien durchgeführt. Der Block wurde auch von den Projektpartnern der TU Ilmenau für Radarmessungen genutzt. Für die Vorversuche im Bergwerk wurde nach einer Befahrung die Maschinenstrecke Auffahrt ED (Bahnhof) in der Grube Sondershausen ausgewählt.

*Arbeitspunkt 3-4:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

*Arbeitspunkt 5:* Es erfolgten Vorabsprachen mit einem Bergwerksbetreiber, um Langzeitbeobachtungen der bergbauinduzierten Auflockerung des Gebirges unmittelbar nach der Neuauffahrung einer Maschinenstrecke im Steinsalz durchzuführen.

*Arbeitspunkt 6:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Spätestens im März werden erste geophysikalische Messungen in einer Maschinenstrecke in der Grube Sondershausen vorgenommen. Die Vorversuche im Labor und Bergwerk sollen im Jahr 2005 abgeschlossen werden. Gleichzeitig wird mit der Entwicklung methodenübergreifender Interpretationstechniken begonnen 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> Technische Universität Ilmenau, Max-Planck-Ring 14, 98684 Ilmenau		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 1194</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthfrequenz-Radar		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.01.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.08.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 294.886,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Sachs	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel besteht darin, durch zerstörungsfreie und kontinuierlich arbeitende Untersuchungsmethoden Aussagen über den Auflockerungszustand 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

- Aufbau und Test breitbandiger impulsabstrahlender Antennen bis 15 GHz, Aufbau und Programmierung einer Antennenmessvorrichtung
- Labormessungen des Transmissions- und Reflexionsverhaltens elektromagnetischer Wellen an einem Salzblock beim Projektpartner IZFP Dresden; Test verschiedener Antennenkonzepte bei unterschiedlichen Bandbreiten und Frequenzlagen; Die Experimente haben gezeigt, dass im Salzgestein die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen bis 20 GHz mit akzeptablen Verlusten verbunden ist. Falls auch größere Ausbreitungsverluste tolerierbar sind, könnten sogar noch höhere Messfrequenzen gewählt werden.
- Auswahl eines Testgeländes im Bergwerk Glückauf Sondershausen für Vorversuche

- Konzeption für den Radarscanner; Der Scanner bewegt die Messantennen über das Untersuchungsareal. Präzision und Schwingverhalten sind die entscheidenden Konstruktionskriterien. Es wird von einer zu bewegenden Masse von ca. 10 kg ausgegangen. Die erforderliche Positioniergenauigkeit liegt bei einem Bruchteil der kleinsten Wellenlänge des Radarsignals.
- Weiterentwicklung und Anpassung der Elektronikkonzepte für das Ultra-Breitband-Radar; Zielstellung ist die frühzeitige Verfügbarkeit eines unter Tage einsetzbaren Ultra-Breitband-Radars, um reale Messdaten für die Entwicklung der Signalverarbeitung zur Verfügung stellen zu können. Im Anfangsstadium wird die nutzbare Bandbreite ca. 4 GHz betragen. Infolge des modularen Aufbaus des Messsystems sollen die 4-GHz-Module im Verlaufe des Projektes durch breitbandigere Module ersetzt bzw. ergänzt werden.
- Aufbau und Test elektronischer Teilkomponenten des Ultra-Breitband-Radars

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

- Schaffung der experimentellen Voraussetzungen für Messungen im Bergwerk mit Labormessgeräten (Netzwerkanalysator)
  - Aufbau und Programmierung eines Experimental-Scanners aus vorhandenen Komponenten. Nach bisherigen Abschätzungen wird dieser Scanner aber noch nicht die erforderlichen Parameter einhalten können. Für erste Untersuchungen ist das aber akzeptabel
  - Aufbau von Staubschutzmaßnahmen für besonders empfindliche und kostspielige Labormessgeräte
  - Programmierung der Messgeräte
  - Schaffung der Software zur Datenauswertung und Auswertung der Daten
- Durchführung und Auswertung von Radar-Messungen im vorgesehenen Testgelände
  - Erprobung verschiedener Antennen; Messungen in verschiedenen Frequenzlagen; Erprobung verschiedener Scan-Verfahren
  - Auswertung der Messdaten mit dem Ziel der Detektion von Auflockerungsstellen, Rissen, Ablösungen etc. im Salinar
  - Auswertung der Messdaten hinsichtlich Ursache und Stärke von Störsignalen (Clutter)
- Aufbau und Test des vollständigen Radargerätes mit Messmodulen von ca. 4 GHz Bandbreite
- Fortführung der konzeptionellen Arbeiten zur Schaffung von Messköpfen mit höherer Bandbreite und schrittweise Implementierung von Experimentalschaltungen
- 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-Szenarien) im Labor mit dem Ziel, experimentelle Gegenmaßnahmen und numerische Methoden zur Störunterdrückung in den Messdaten zu erforschen
- Theoretische Untersuchungen zu Effekten der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in gestörten Grenzflächen
- Radar-Datenverarbeitung
  - Konzeption
  - Vorverarbeitung und Datenaufbereitung
  - Migration für zirkulares Scannen
  - Migration unter Einbeziehung realer Antennencharakteristiken

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

- Radarmessungen am Salzblock (interner Bericht)
- Impulsabstrahlung von Rigid-Horn und Vivaldi-Antennen (interner Bericht)
- Genauigkeitsuntersuchungen eines vorhandenen Zirkular-Scanners (interner Bericht)

<b>Zuwendungsempfänger:</b> GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG, Straße der Einheit 9, 06179 Teutschenthal		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 1204</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit); Teil 2: Erprobung von Funktionselementen in situ		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2004 bis 31.12.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.11.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 4.434.956,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Knoll	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben schließt an das Vorhaben 02C0942 an. Es dient der Vervollständigung und großmaßstäblichen Verifizierung des dort erarbeiteten Grundkonzeptes und der dazugehörigen Bemessungsgrundlagen für die Errichtung von Streckendämmen in leichtlöslichen Salzgesteinen, insbesondere im Carnallit.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### AP1 Planung eines Versuchsbauwerkes und seiner einzelnen Funktionskomponenten

- AP2 Auswahl der Einbaustandorte für die einzelnen zu untersuchenden Funktionselemente des komplexen Absperrbauwerkes
- AP3 Entwicklung eines interdisziplinären Messkonzeptes zum Nachweis der geplanten Eigenschaften der Dammbaumaterialien und des Umgebungsgesteins sowie ihres Verhaltens im Zeitverlauf; Funktionssicherung des Bauwerkes
- AP4 Untersuchungen zur Abdichtung der Kontaktzone und des unmittelbar daran anschließenden Gebirgsbereiches in der Einbauzone
- AP5 Labor- und In-situ-Untersuchungen zu den im Konzept (AP1) aufgeführten Verschluss-elementen und Materialien
- AP6 Modellrechnungen für das Komplettbauwerk (Dammelemente, Fuge, ALZ, unverritztes Gebirge)
- AP7 Errichtung von Funktionselementen (Module)
- AP8 Konzipierung, Errichtung und Test geeigneter „Vorbau“-Elemente
- AP9 Messtechnische Kontrolle und Überwachung mit Vergleich der Messwerte mit den Berechnungsergebnissen zum geomechanischen und hydraulischen Verhalten
- AP10 Verarbeitung der Ergebnisse zu Prüfkriterien und Testanforderungen für Absperrbauwerke der untersuchten Kategorie
- AP11 Berichtsfassung und Dokumentation

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

- AP1 Die Untersuchungen konzentrierten sich auf das AP1 und dienten vor allem der Auswahl der Materialien für Dichtung, Lastabtrag und Vorbauelemente, wobei zunächst die Verknüpfung der Einzelergebnisse aus dem Vorhaben 02C0942 und die Ableitung von Schlussfolgerungen für die weitere Verfahrensweise im Vordergrund stand.
- AP2 Wegen der Durchführung der Untersuchungen zum Vorhaben 02C0942 an einem geologisch und technisch vergleichbaren Ersatzstandort, wurden konzeptionelle Überlegungen zur Übertragbarkeit der Teilergebnisse auf den Untersuchungsstandort für großtechnische Versuche angestellt und die Schlussfolgerungen für Auswahl und Charakterisierung des Einbaustandortes gezogen.
- AP5 Die Eignungsuntersuchungen und die erweiterte Anpassungsfähigkeit von kalthärtendem Injektionsbitumen wurden vervollkommen. Die Grundsatzuntersuchungen zu Baustoffen auf Gelbasis wurden weitergeführt und die Durchführung von In-situ-Versuchen konzeptionell vorbereitet.
- AP7 Mit der Planung der Dammstruktur und der Funktionselemente wurde begonnen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die weiteren Arbeiten orientieren sich an den konzipierten Arbeitspaketen AP1 bis AP11, wobei zunächst die Auswahl und Charakterisierung des Versuchs- und Einbaustandortes im Vordergrund steht.

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

Eine "Kick-off" Veranstaltung zum Vorhaben ist für Anfang 2005 vorgesehen und mit den Vorbereitungen wurde begonnen.



### **2.3 W-Vorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 W 6232</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2002 bis 31.05.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 344.241,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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 20.10. 2004 fand in Berlin bei der DGAP eine Projektgruppensitzung statt. Es wurden folgende Themen behandelt:

- Die internationalen Bemühungen zur Einbindung Irans in das nukleare Nichtverbreitungsregime
- Multinationalisierung des nuklearen Brennstoffkreislaufs als Instrument der Nichtverbreitungspolitik: Pro und Contra
- Probleme und Perspektiven des Atomwaffensperrvertrages vor der Überprüfungskonferenz 2005
- Präventivschläge gegen Proliferatoren – ein geeignetes Mittel der Nichtverbreitungspolitik?

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Es sind für das Jahr 2005 weitere Sitzungen der Projektgruppe mit kleineren Workshops vorgesehen, die sich weiterhin mit der aktuellen Situation der Nichtverbreitung beschäftigen, insbesondere mit den Ergebnissen der Überprüfungskonferenz des Nichtverbreitungsvertrags im Mai 2005.

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

M. Stein, G. Stein, B. Richter und C. Jorant:  
“Multi-or Internationalization of the Nuclear Fuel Cycle: Revisiting the Issue”,  
JNMM Summer 2004, Vol. XXXII, No. 4, 53-58.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 W 6243</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2003 bis 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 769.798,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Stein	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben baut auf den Ergebnissen der Vorhaben 02W6184 und 02W6218 auf und zielt ab auf Lösungsvorschläge zur Implementierung des Zusatzprotokolls, Entwicklung von anlagen- und brennstoffkreislaufspezifischen Kontrollmethoden sowie Weiterentwicklung von Safeguardstechniken und -methoden im Rahmen der Proliferationsresistenz.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Programmpunkte und Arbeitspakete sind

- die Entwicklung von Prozeduren für die Durchführung von Complementary Access, Managed Access sowie Unannounced Inspections,
- die Erarbeitung qualitativer Kriterien zur Inspektionsplanung von IAEO und Euratom und zur Bewertung der Inspektionsergebnisse,
- die Erarbeitung von Vorschlägen zu zukünftigen Betreiberpflichten,
- die Zusammenarbeit mit ESARDA,
- die Entwicklung von Komponenten für Unattended Remote Monitoring and Measurement Systems,
- die Entwicklung von Methoden der Fernerkundung,
- die Bearbeitung von Fragen zur nuklearen Abrüstung,
- die Entwicklung von zerstörungsfreien Methoden zur Verifizierung abgebrannter Brennelemente in kraftwerksstandortnahen Zwischenlagern,
- die Erarbeitung von Kriterien zur Beendigung der Kontrollen,
- die Untersuchung und Bewertung geophysikalischer Methoden für die Überwachung der geologischen Endlagerung abgebrannter Brennelemente,
- die Definition von Kriterien zur Proliferationsresistenz und
- die Analyse von technischen, institutionellen und politischen Ansätzen zur Stärkung der Nichtverbreitung.

Die Arbeiten erfolgen im internationalen Kontext nach vorgegebenen Zeitplänen von 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: Beschaffung mehrerer ASTER-Satellitenbilder von nuklearen Anlagen bei Yongbyong/Nordkorea sowie vom Nevada-Testgelände/USA für den Zeitraum 2000-2003; Auswertung durch Änderungsdetektion; Erkennung neuerer Aktivitäten auf dem Nevada-Testgelände. Wegen der dichten Vegetation in Nordkorea war die Interpretierung der Differenzbilder schwierig, es werden zusätzlich hochauflösende Bilder benötigt.
- Geologische Endlagerung: Teilnahme am einem Expertentreffen in Finnland und Mitarbeit bei der Erstellung des Ergebnisberichts.
- ESARDA: Organisation und Durchführung einer Sitzung der Arbeitsgruppe „Verification Technologies and Methodologies (VTM)“ mit Vorträgen hinsichtlich unterschiedlicher Verifikationsfelder und dem Ziel der Erstellung eines Arbeitsplanes.
- Zusatzprotokoll: Durchführung eines Betreiberseminars über Deklarationspflichten.
- Unannounced Inspections: Es wurde ein spieltheoretisches Modell für unangemeldete Zwischeninspektionen entwickelt und Gleichgewichtslösungen dafür bestimmt. Gemäß der neuen Safeguardsphilosophie unter dem Zusatzprotokoll berücksichtigt das Modell sowohl technische Parameter (Entdeckungswahrscheinlichkeiten, Fehlalarmraten und Kosten, Gesamtinspektionsaufwand) als auch subjektiv-politische (Sanktionen, Anreiz zum illegalen Verhalten). Optimale Inspektionsfrequenzen und -zeiten, um legales Verhalten zu erzwingen, wurden abgeleitet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fernerkundung: Entwicklung von Programmmodulen zur topografischen Korrektur der Reflektanzen als Funktion des lokalen Sonneneinstrahlungswinkels, Untersuchung von fuzzy clustering-Verfahren zur Visualisierung von Änderungen bei der unüberwachten Klassifizierung; Beschaffung von hochauflösenden IKONOS-Bildern zur Untersuchung von Fragen zur Orthorektifizierung.
- Geologische Endlagerung: Abstimmung des Ergebnisberichtes von Finnland; Planung und Durchführung der nächsten Expertensitzung im Juni 2004 in Salzgitter.
- ESARDA: Abstimmung des Arbeitsplanes für die VTM-Arbeitsgruppe und Verteilung von Aufgaben.
- Zusatzprotokoll: Durchführung eines Betreiberseminars über Deklarationspflichten.
- Unannounced Inspections: Publikation des spieltheoretischen Modells in der Zeitschrift „Journal of European Operations Research“.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine



## **2.4 BMWA-Hausvorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E)		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>KWA 2003</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2003 bis 31.12.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.317.055,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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 02E9198, 02E9249, 02E9279, 02E9390, 02E9491, 02E9743, FZK/INE, BGR)

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

(Vorhaben 02E9531, 02E9602, 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 Feuchtigkeitsspeziesausbreitung 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 13 Vorhaben in die internationalen Programme zur Untersuchung alternativer Wirtsgesteine eingebunden. Die Laufzeit von vier Vorhaben endete im Berichtszeitraum (02E9249, 02E9279 und 02E9491, 02E9713). Die Vorhaben 02E9279 und 02E9713 waren verlängert worden.

Die in den Vorhaben vorgesehenen Untersuchungen sind aus den Berichten in Kapitel 2.1 zu sehen.

Im zweiten Halbjahr 2004 wurde vom Projektträger ein Informationsgespräch (Fachgespräch EU-Projekte am 1.12.2004) der in internationalen FuE-Programmen aktiven Forschungsstellen realisiert. Dabei berichteten Koordinatoren über den Stand der Arbeiten in den jeweiligen IP oder NoE. Möglichkeiten der Vorgehensweise im FP7 wurden erörtert. Ein Vorhaben ist in Vorbereitung, das GRS die Mitwirkung in FUNMIG ermöglichen soll. Der PT wird im jährlichen Turnus zum Informationsgespräch einladen.

### 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  | 142 |
| <b>Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99421 Weimar</b>                |  |     |
| 02 C 0881   | Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement   | 120 |
| 02 C 1104   | Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme   | 162 |
| <b>Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42097 Wuppertal</b>                      |  |     |
| 02 C 1084   | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems                     | 158 |
| <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  | 144 |
| 02 C 1074   | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten | 156 |
| <b>BUTEC Umwelttechnik GmbH, Düsseldorfer Straße 32-34, 65760 Eschborn</b>                  |  |     |
| 02 E 9864   | Selbsteilungseffekte in Tongestein bei hohen Temperaturen - Teilvorhaben WP 4.4 des Integrated Project NF-PRO des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission                                 | 88  |
| <b>DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine</b>                                    |  |     |
| 02 E 9249   | Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt des Nachweises der Betriebssicherheit in einem Endlager  | 16  |
| 02 E 9511   | Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)   | 24  |
| 02 E 9521   | Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)   | 26  |
| 02 E 9531   | Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen  | 28  |
| 02 E 9571   | Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen  | 34  |

- 02 E 9612 Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein 40
- 02 E 9733 Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein 62
- 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 64
- 02 E 9854 Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1) 86

**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 160
- 02 C 1154 Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT) 170

**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) 174

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

- 02 E 9803 Untersuchungen zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager 76
- 02 W 6232 Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen 184
- 02 W 6243 Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen 186

**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 6 152
- KWA 2003 Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine 190

**Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), Bautzner Landstraße 128 (B6), 01314 Dresden**

- 02 E 9491 Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters 22

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  50

02 C 1144 Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-FZR)  168

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), HansasträÙe 27c, 80007 München**

02 C 1184 Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar  176

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

02 C 0689 Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien  110

02 C 0710 Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten  112

02 C 0830 Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar  116

02 C 0912 Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien  124

02 C 0963 Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analyseergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands  134

02 C 0973 Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen  136

02 C 0983 Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen  138

02 C 0993 Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C und 90° C  140

02 C 1164 Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)  172

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

02 E 9279 Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“  18

02 E 9390 Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt „Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock – Phase II“ FEBEX II  20

<b>02 E 9551</b>	Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen	30
<b>02 E 9561</b>	Modellentwicklung zur Quellung hochkompakter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 – 120°	32
<b>02 E 9592</b>	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	36
<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	38
<b>02 E 9622</b>	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	42
<b>02 E 9713</b>	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager, - SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor, Vorprojekt	58
<b>02 E 9723</b>	Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen	60
<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	70
<b>02 E 9783</b>	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	72
<b>02 E 9813</b>	Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen	78
<b>02 E 9824</b>	Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)	80
<b>02 E 9834</b>	Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT	82
<b>02 E 9844</b>	NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment	84
<b>02 E 9884</b>	Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen	92
<b>02 E 9894</b>	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt	94
<b>02 E 9914</b>	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ	98
<b>02 E 9934</b>	Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)	102
<b>02 E 9944</b>	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2	104
<b>02 E 9954</b>	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager	106

<b>GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH &amp; Co. KG, Straße der Einheit 9, 06179 Teutschenthal</b>
--

- |           |   |       |
|-----------|---|-------|
| 02 C 0942 | Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV                | 📖 130 |
| 02 C 1204 | Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit); Teil 2: Erprobung von Funktionselementen in situ | 📖 180 |

<b>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig</b>
---

- |           |   |       |
|-----------|---|-------|
| 02 C 0892 | Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen          | 📖 122 |
| 02 C 1024 | Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 3 | 📖 146 |
| 02 E 9874 | Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation          | 📖 90  |
| 02 E 9904 | Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein   | 📖 96  |

<b>Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstr. 15, 04318 Leipzig</b>
--

- |           |  |       |
|-----------|--|-------|
| 02 C 0932 | Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)   | 📖 128 |
| 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 | 📖 48  |
| 02 E 9753 | Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracerverfahren   | 📖 66  |

<b>Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55122 Mainz</b>
---

- |           |   |       |
|-----------|---|-------|
| 02 E 9653 | Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit | 📖 46  |
| 02 C 1064 | Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken                       | 📖 154 |

<b>Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Binzengrün 34 a, 79114 Freiburg</b>
--

- |           |  |      |
|-----------|--|------|
| 02 E 9793 | Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen | 📖 74 |
|-----------|--|------|

**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  56

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

- 02 C 1124 Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke  164

**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  114
- 02 C 0841 Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten  118
- 02 C 0952 Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge  132
- 02 C 1034 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4  148
- 02 C 1134 Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern  166
- 02 E 9632 Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein  44

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

- 02 C 1194 Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthfrequenz-Radar  178

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

- 02 E 9693 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe  54
- 02 E 9763 Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  68

**Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66123 Saarbrücken**

- 02 E 9683 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit  52

**Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover**

- 02 C 1044 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5  150

**Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe**

- 02 C 0922** Verschlussystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität  126

**Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14415 Potsdam**

- 02 E 9924** Verbundprojekt: Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Humin-Metall-Komplexierung (Teil Antrag im Verbund „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“)  100