

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

## **PTE Nr. 24**

Bericht über die im zweiten Halbjahr 2002  
vom BMBF und BMWA geförderten FuE-Arbeiten zur  
„Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formatio-  
nen“

Projekträger des BMBF und BMWA für  
Wassertechnologie und Entsorgung  
(PtWT+E)

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH**  
Februar 2003

## **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 sogenannten 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	WEITERENTWICKLUNG VON ENDLAGER- UND UNTERTAGEDEPONIEKONZEPTIONEN UNTER SICHERHEITSGESICHTSPUNKTEN .....	1
1.2	VERBESSERUNG VON INSTRUMENTARIEN FÜR DIE SICHERHEITSBEWERTUNG VON ENDLAGERN UND UNTERTAGEDEPONIEN .....	3
1.3	WEITERENTWICKLUNG DER KERNMATERIALÜBERWACHUNG .....	9
<b>2</b>	<b>Formalisierte Zwischenberichte .....</b>	<b>11</b>
2.1	E-VORHABEN .....	11
2.2	C-VORHABEN .....	103
2.4	W-VORHABEN .....	153
2.5	BMW-HAUSVORHABEN .....	159
<b>3</b>	<b>Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....</b>	<b>163</b>



# 1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen

## 1.1 Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten

<b>02 C 0516</b>	Schachtverschlüsse für untertägige Deponien in Salzbergwerken - Forschungsvorhaben Schachtverschluss Salzdetfurth Schacht SA II	<b>K+S Aktiengesellschaft, Kassel</b>	📖 104
<b>02 C 0547</b>	Entwicklung eines Grundkonzepts für langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke im Salinar -Bau und Test eines Versuchsverschlussbauwerkes unter realen Bedingungen-	<b>TU Bergakademie Freiberg</b>	📖 106
<b>02 C 0800</b>	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung	<b>Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar</b>	📖 122
<b>02 C 0810</b>	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 124
<b>02 C 0830</b>	Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 128
<b>02 C 0881</b>	Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement	<b>Bauhaus-Universität Weimar</b>	📖 138
<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>	📖 148
<b>02 E 9118</b>	Untersuchungen zur hydraulisch wirksamen Auflockerungszone um Endlagerbereiche im Salinar in Abhängigkeit vom Hohlraumabstand und Spannungszustand	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 12
<b>KWA 9901</b>	Unterstützungsprogramm Granit	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 160





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

02 C 0628	Modellrechnungen zur großräumigen dichteabhängigen Grundwasserbewegung	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 108
02 C 0649	Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von UTD in Salzformationen der flachen Lagerung im Zusammenhang mit dem Verformungs- und Bruchverhalten – Phase III	<b>IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>	📖 110
02 C 0669	Hydraulische Kennwerte von tonhaltigen Mineralgemischen zum Verschluss von Untertagedeponien	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 112
02 C 0689	Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 114
02 C 0709	Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen/anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle	<b>Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Leipzig</b>	📖 116
02 C 0710	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>	📖 118
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	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 120
02 C 0820	Zeitliche Veränderung der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften	<b>TU Bergakademie Freiberg</b>	📖 126
02 C 0841	Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 130
02 C 0851	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geosonar- und Ultraschallverfahren-	<b>Fraunhofer Gesellschaft, München</b>	📖 132
02 C 0861	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geoelektrik, Seismik, Geologie-	<b>Universität Leipzig</b>	📖 134

<b>02 C 0871</b>	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien -Elektromagnetik, Georadar, Quantitative Charakterisierung von Problemzonen-	<b>Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben GGA, Hannover</b>	📖 136
<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>	📖 140
<b>02 C 0902</b>	Wissenschaftlich-technisches Programm für den Rückbau des in situ getesteten Verschlussbauwerkes in der Grube Sondershausen	<b>TU Bergakademie Freiberg</b>	📖 142
<b>02 C 0912</b>	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 144
<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>	📖 146
<b>02 C 0952</b>	Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 150
<b>02 E 9138</b>	Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des geochemischen Milieus in hochsalinaren Lösungen	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 14
<b>02 E 9148</b>	Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransports	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 16
<b>02 E 9178</b>	Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 18
<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>	📖 20
<b>02 E 9239</b>	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 22
<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>	📖 24
<b>02 E 9259</b>	Untersuchung des Spannungszustandes und des gebirgsmechanischen Verhaltens von Versatz und Wirtsgestein in Abhängigkeit von der Temperatur	<b>IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>	📖 26

02 E 9269	Abschließende Auswertung des Projektes „Thermische Simulation der Streckenlagerung / Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar“	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 28
02 E 9279	Goelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 30
02 E 9289	Versuchsfeldaufwältigung und Rückgewinnung von Materialproben und Messeinrichtungen	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE), Peine	📖 32
02 E 9299	Untersuchungen über die Komplexierung und die Migration von Aktiniden und nichtradioaktiven Stoffen mit Huminsäuren unter geogenen Bedingungen – Komplexierung von Huminsäuren mit Aktiniden in der Oxidationsstufe IV Th, U, Np	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 34
02 E 9309	Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nichtradioaktiven Stoffen	Johannes Gutenberg-Universität, Mainz	📖 36
02 E 9329	Komplexierung und Migration von Al, Ga, In, Sc, Y, La und Schwermetallen mit Huminsäure	Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Leipzig	📖 38
02 E 9330	Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen	TU Bergakademie Freiberg	📖 40
02 E 9340	Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen	BUTECH Umwelttechnik GmbH, Eschborn	📖 42
02 E 9360	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden	TU München	📖 44
02 E 9370	Weiterentwicklung von Simulationstechniken für Gas-Wasser-Prozesse in geklüftet-porösen Medien auf der Feldskala	Universität Stuttgart	📖 46
02 E 9380	Migrations- und Sorptionsuntersuchungen geogener Lösungen in Wirtsgesteinsformationen (Tone, Tongestein, Salzgestein) mittels tomographischer Radiotracerverfahren (PET)	Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Leipzig	📖 48
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	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 50

02 E 9400	Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung im Boom Clay in Mol im Projekt: "Integrated in Situ Corrosion Test on Alpha-Active High Level Waste Glass - Phase 2" CORALUS 2	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 52
02 E 9410	Transport und Rückhaltung von Schadstoffen in alterierten Kluftbereichen des HRL Äspö	TU-Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 54
02 E 9420	Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Al-lovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 56
02 E 9430	Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin, Mitarbeit in der Task Force "EBS" des HRL Äspö	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 58
02 E 9440	Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 60
02 E 9450	Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden	TU München	📖 62
02 E 9461	Untersuchung der chemischen und hydrochemischen Wechselwirkungen von Ton/Zement-Systemen; ECOCLAY - Phase II	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 64
02 E 9471	Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 66
02 E 9481	Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren	Universität Hannover	📖 68
02 E 9491	Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 70
02 E 9501	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinustons im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 72
02 E 9511	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 74
02 E 9521	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 76
02 E 9531	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	DBE Technology GmbH, Peine	📖 78
02 E 9541	Vorprojekt zur Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im URL Bure	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 80

<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>	📖 82
<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>	📖 84
<b>02 E 9571</b>	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 86
<b>02 E 9582</b>	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	<b>IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>	📖 88
<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>	📖 90
<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>	📖 92
<b>02 E 9612</b>	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 94
<b>02 E 9622</b>	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 96
<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>	📖 98
<b>02 E 9642</b>	Untersuchungen zur Endlagerung in Großbohrlöchern	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 100



### 1.3 Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung

- |                  |   |                                      |       |
|------------------|---|--------------------------------------|-------|
| <b>02 W 6218</b> | Entwicklung digitaler Safeguardstechniken zur Verbesserung der Effektivität und der Kosteneffizienz und Anpassung an das neue Safeguardssystem INF-CIRC/540 | <b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b> | 📖 154 |
| <b>02 W 6232</b> | Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen   | <b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b> | 📖 156 |





## **2 Formalisierte Zwischenberichte**

### **2.1 E-Vorhaben**

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9118</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur hydraulisch wirksamen Auflockerungszone um Endlagerbereiche im Salinar in Abhängigkeit vom Hohlraumabstand und Spannungszustand			
<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> 01.07.1998 bis 30.04.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.081.710,51 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Wiczorek	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Wirksamkeit von Bohrloch- und Streckenverschlüssen in Endlagern bzw. Untertagedeponien in Salzformationen wird durch die Auflockerungszone im umgebenden Gestein beeinflusst, die durch Verformungen und damit verbundene Spannungsumlagerungen während und nach der Hohlraumerstellung entsteht und infolge der Spannungsaufnahme beim Auflaufen des Gebirges auf einen Verschluss wieder abgebaut wird. Die hydraulischen Eigenschaften der Auflockerungszone und ihre Entwicklung während der Rückbildungsphase sind Gegenstand der Untersuchungen. Da die Rückbildungsphase für direkte Beobachtungen eine zu lange Zeit in Anspruch nimmt, soll der Zusammenhang zwischen Durchlässigkeit und Spannungszustand abgeleitet werden. Dazu werden an verschiedenen Versuchsorten In-situ-Messungen der Permeabilität und der Gebirgsspannung mit ergänzenden Laboruntersuchungen und Modellrechnungen durchgeführt. Untersucht wird insbesondere auch die Permeabilität und ihre Richtungsabhängigkeit im unmittelbaren Streckensaum.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projekts „BAMBUS II“ von der Europäischen Union gefördert.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AS1: Geoelektrische Kartierung der Versuchsorte

AS2: Labormessungen

AS3: Gebirgsspannungsmessungen

AS4: Permeabilitätsmessungen mit Gas

AS5: Bestimmung der Permeabilität im unmittelbaren Nahbereich von Hohlräumen

AS6: Modellierung des mechanischen Zustandes

AS7: Vergleich Hydraulik - Mechanik und abschließende Auswertung

AS8: Projektmanagement und Dokumentation

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- AS3: Zwei- und dreidimensionale Finite-Element-Modelle zur Auswertung der Überbohrversuche zur Spannungsbestimmung wurden entwickelt und getestet.
- AS4: Die Permeabilitätsmessungen in den horizontalen Bohrlöchern zwischen Kammer 8b und Kammer 8 auf der 532-m-Sohle wurden abgeschlossen. Im TSDE-Versuchsfeld auf der 800-m-Sohle wurde ein geneigtes Bohrloch von der geöffneten (nördlichen) Erhitzerstrecke in die Sohle der südlichen Erhitzerstrecke gebohrt. Dort wurden weitere Permeabilitätsmessungen durchgeführt, die nahezu beendet sind.
- AS5: Im unmittelbaren Sohlenbereich der AHE-Strecke wurden Laugeninjektionstests mit begleitenden Geoelektrikmessungen durchgeführt. Nach den Laugentests wurden Wiederholungstests mit Gas durchgeführt. Die Messungen zu diesem Arbeitsschritt sind beendet.

### 4. Ergebnisse

- AS3: Zweidimensionale Modelle sind nicht zur Beschreibung der Vorgänge beim Überbohren geeignet. Ein dreidimensionales Modell wurde getestet, lieferte aber zu ungenaue Ergebnisse und wird zur Zeit verfeinert.
- AS4: Die Permeabilitätsmessungen im TSDE-Versuchsfeld sind noch nicht komplett ausgewertet, es lässt sich aber bereits sagen, dass der Sohlenbereich der Erhitzerstrecke stark aufgelockert ist (teilweise wurde bei der Gasinjektion kein Druckaufbau erreicht), während im Pfeiler keine erhöhte Permeabilität festzustellen ist.
- AS5: Die Ergebnisse der geoelektrischen Messungen vor und nach den Laugeninjektionstests im Sohlenbereich der AHE-Strecke zeigen, dass die Laugenausbreitung im Wesentlichen auf die oberen 20 cm unterhalb der Sohle beschränkt ist, wobei eine radial-horizontale Ausbreitung der Lauge um etwa 1 m erreicht wurde. Dies bestätigt die Erwartung, dass die Permeabilität im Nahbereich der Sohle hochgradig anisotrop ist.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- AS3: Beendigung der Auswertung der Gebirgsspannungsmessungen  
 AS4: Beendigung der Packertests im TSDE-Versuchsfeld  
 AS5: Laugeninjektionstests im Nahbereich der Sohle der AHE-Strecke  
 AS6: Mechanische Modellierung von AHE-Strecke und Kammer 8/8b auf der 532-m-Sohle  
 AS7: Abschließende Auswertung

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9138</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des geochemischen Milieus in hochsalinaren Lösungen			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.1998 bis 31.03.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.405.386,46 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Moog	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Durch Literaturrecherchen und eigene Laborexperimente sollen Pitzer-Ionenwechselwirkungskoeffizienten für Eisen- und reduzierte Schwefelspezies ermittelt werden. Dies ermöglicht eine verbesserte Berechnung sowohl der Löslichkeit von schwerlöslichen Sulfiden als auch anderer eisenhaltiger Mineralphasen in endlagerrelevanten, hochsalinaren Lösungen. Die angestrebten Resultate berühren auch die theoretische Behandlung der Korrosion von Stahlbehältern.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst drei Arbeitspakete.

### AP 1: Thermodynamische Modellierung

- 1) Literaturrecherche
- 2) Berechnung von Pitzerkoeffizienten (Aufbau entspr. Algorithmen in Excel-Tabellen)
- 3) Berechnung von Löslichkeitskurven und osmotischen Koeffizienten und Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen bzw. Literaturdaten
- 4) Anwendung des neuentwickelten Parametersatzes
- 5) Abschlussbericht

### AP 2: Laborarbeiten

- 1) Isopiestic Messungen (Eisen)
- 2) Löslichkeitsuntersuchungen (Eisen)
- 3) Löslichkeitsuntersuchungen (Schwefel)
- 4) Validierung des neu entwickelten Parametersatzes
- 5) Auslaugversuche

### AP 3: Langzeitsicherheit

- 1) Vorarbeiten
- 2) Programmtechnische Entwicklungsarbeiten
- 3) Qualitätssicherungsmaßnahmen

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Es wurde eine weitere Transportrechnung mit LOPOS durchgeführt. Dabei wurde eine Datenbasis verwendet, in die auch Daten für die Radionuklide U, Np, Tc und Am eingebaut worden waren.

Ein alternatives Verfahren zur Bestimmung der Sättigungskonzentration von H<sub>2</sub>S in hochsalinaren Lösungen wurde getestet. Bestimmungen im System H<sub>2</sub>S-NaCl-H<sub>2</sub>O wurden durchgeführt. Der Aufbau eines weiteren Verfahrens wurde begonnen.

### **4. Ergebnisse**

Vergleichsrechnungen mit LOPOS, bei denen nicht in jedem Zeitschritt das thermodynamische Gleichgewicht ausgerechnet wurde, ergaben signifikante Unterschiede.

Im System H<sub>2</sub>S-K-Cl-H<sub>2</sub>O wurden stark streuende Werte für die H<sub>2</sub>S-Löslichkeit gefunden. Das Verfahren erscheint insgesamt nicht verlässlich zu sein.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Aufbau eines weiteren Verfahrens zur Bestimmung der Löslichkeit von H<sub>2</sub>S in hochsalinaren Lösungen sowie Durchführung von Messungen zur Reproduzierung von Literaturdaten. Berechnung von Pitzer-Parametern für die Systeme Fe(II), Fe(III) – Na, K, Mg, Ca – Cl, SO<sub>4</sub> – H<sub>2</sub>O. Anfertigung des Abschlussberichtes.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

in Vorbereitung

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9148</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransports			
<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 30.06.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.415.450,73 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Fein	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In Langzeitsicherheitsanalysen von Endlagern für gefährliche Abfälle in tiefen geologischen Formationen wird für relevante Szenarien die Belastung der Biosphäre infolge einer potentiellen Ausbreitung von Schadstoffen abgeschätzt. Dabei werden drei von einander unabhängige Teilbereiche betrachtet, das Nahfeld, die Geosphäre und die Biosphäre.

Mit der Bereitstellung eines Transportprogramms soll die Möglichkeit geschaffen werden, den Schadstofftransport in der Geosphäre in porösen oder äquivalent-porösen Medien für große, dreidimensionale, komplexe Gebiete zu modellieren. Dabei wird das Programm in der Lage sein, alle relevanten Rückhalte- bzw. Wechselwirkungseffekte zu berücksichtigen. Diese sind Gleichgewichtssorption, Sorptionskinetik, Diffusion in immobile Porenwässer, Ausfällung, Komplexbildung, kolloidgetragener Transport und Matrixdiffusion. Es ist aber nicht beabsichtigt, in dieser Neuentwicklung den Transport mit einem Speziationscode zu koppeln.

Auf Grund dieser Anforderungen wird es möglich werden, das Verdünnungspotential und auch die auf den Wechselwirkungseffekten basierende Barrierewirkung des Deckgebirges realitätsnah abzuschätzen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist in folgende Arbeitspakete unterteilt:

- AP 1: Leitung des Vorhabens
  - Organisatorische und koordinierende Tätigkeiten
  - Erstellung des Anwenderhandbuchs und der Dokumentation
  - Durchführung regelmäßiger Statusgespräche
  - Ab- und Übernahme des Programms
  - Berichtswesen
- AP 2: Detailplanung und Benutzeroberflächen
  - Entwicklung eines fachlichen Feinkonzeptes
  - Erstellung eines Softwareentwicklungsplanes
  - Definition von Schnittstellen zu anderen Programmen
- AP 3: Testrechnungen

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Um das Mischungsverhalten im Falle nichtlinearer Sorption durch ein homogenes Ersatzmedium korrekt wiedergeben zu können, wurde ein nichtlokaler Ansatz benutzt. Dabei wird das homogene Ersatzmodell in der Form einer Integrodifferentialgleichung dargestellt. Simulationen mit räumlich variablen Freundlich-Parametern wurden durchgeführt.

Für ein Testbeispiel mit nichtlinearer Sorption wurden Vergleichsrechnungen zwischen adaptiven Verfahren höherer Ordnung und adaptiven Verfahren erster Ordnung durchgeführt. Hierbei erreichte das Verfahren höherer Ordnung nicht nur eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit der exakten Lösung, es benötigte auch deutlich weniger Gitterzellen und Rechenzeit.

In die Diskretisierung wurden elementspezifische Werte für Diffusion und Löslichkeit integriert. Die "flux-based method of characteristics" wurde um ein Verfahren höherer Ordnung erweitert.

Testrechnungen zur linearen und nichtlinearen Gleichgewichtssorption wurden durchgeführt und durch Vergleich mit analytischen Lösungen bzw. mit den Ergebnissen anderer Codes sowie durch Plausibilitätskontrollen erfolgreich überprüft.

Für das 2d-Testbeispiel „layered salt dome“ wurde eine Rechnung mit einem mit  $d^3f$  erzeugten, gitterunabhängigen Geschwindigkeitsfeld durchgeführt. Dabei wurde parallel auf 64 Prozessoren, adaptiv, mit 26 Komponenten, linearer Sorption und 348 000 Elementen gerechnet. Für eine Modellzeit von 10 000 Jahren waren 3 Tage Rechenzeit nötig.

Im Rahmen der Entwicklung des Postprozessors wurde ein robustes Verfahren zur Extraktion von Geschwindigkeiten aus experimentellen zeitabhängigen Daten implementiert und anhand der Ergebnisse der Saltpool- und Fingering-Experimente getestet. Ein Verfahren zur gekoppelten räumlich/zeitlichen Glättung dieser Daten wurde entwickelt.

Die vereinfachte Benutzerumgebung des Postprozessors (Baby-Grape) wurde weiterentwickelt. Interaktive Dokumentationstools (Lernprogramm) wurden erarbeitet.

Mit der Programmdokumentation wurde begonnen. Vorbereitende Arbeiten für den Abschlussbericht wurden geleistet.

### 4. Ergebnisse

keine

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Dimitrova Micha, J., Attinger, S., Kinzelbach, W.: Characterization of nonlinear transport behaviour in heterogeneous porous media by means of breakthrough curves, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6721

Dimitrova Micha, J., Attinger, S., Kinzelbach, W.: Characterization of Effective Nonlinear Adsorbing Transport in Heterogeneous Porous Media, Proceed. of ModelCARE, 2002, Prague, Czechia

Frolkovic, P.: Flux-based methods of characteristics for transport problems in groundwater flows induced by sources and sinks, Proceedings of XIV International Conference on Computational Methods in Water Resources, Volume II., p. 979-986, 2002, Delft, The Netherlands

Kacur, J., Frolkovic, P.: Semi-analytical solutions for contaminant transport with nonlinear sorption in 1D, IWR/SFB Preprint; 24/2002

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9178</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)			
<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> 01.01.1999 bis 30.09.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 771.126,32 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Buhmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Rechenprogramme (Module) des Programmpakets EMOS werden entsprechend neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse erweitert, um den Anforderungen an bevorstehende Langzeitsicherheitsanalysen gerecht zu werden. Betroffen sind die Module für den Nahbereich von Endlagern in Granit und Salz, für die Biosphäre und für probabilistische Rechnungen. Die Werkzeuge zur Auswertung und Visualisierung von Rechenergebnissen werden erweitert.

Die derzeitige Version des Programmpakets EMOS wurde im Vorhaben 02 E 8835 fertiggestellt. In die Weiterentwicklung fließen Ergebnisse aus Vorhaben der EU und IAEA ein.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Module für den Nahbereich und den Fernbereich von Endlagern im Granit werden um die Effekte "Aufsättigung des Bentonits", "Kolloide in Klüften" und "ortsabhängige Diffusionseigenschaften der Gesteinsmatrix" ergänzt. In den Modulen für den Nahbereich von Endlagern im Salz wird die Überlagerung advektiver und konvektiver Transportmechanismen mit Hilfe mehrdimensionaler Transportrechnungen überprüft. In die Module für die Biosphäre werden als Ergebnis aus einem internationalen Vorhaben Referenz-Biosphären integriert. In die Module für probabilistische Rechnungen werden neue Sampling-Methoden und Sensitivitätsschätzer übernommen.

Die Werkzeuge zur Auswertung und grafischen Darstellung von Rechenergebnissen werden um folgende Teile erweitert: Berechnung und Darstellung der zeitlichen Änderung der Schadstoffverteilung über die Teilbereiche (u.a. Nahbereich, Fernbereich, Biosphäre) eines Endlagers; Visualisierung der netzwerkartigen Grubengebäudestruktur eines Endlagers im Salz und Abbildung von Rechenergebnissen auf diese grafische Darstellung.



### 3. Durchgeführte Arbeiten

- AS1: - Einbau des finnischen Quellterms in GRAPOS; Rechnung des Referenzfalls von BENIPA  
 - Entwicklung eines Modells zur Wiederaufsättigung von Bentonit und Entwicklung eines Rechencodes zur Berechnung der Wiederaufsättigung
- AS2: - Dokumentation der Änderungen zum kolloidgetragenen Transport am Rechenprogramm CHETMAD
- AS5: - Entwicklung eines neuen Konzepts für die Veränderung der Prä- und Postprozessoren für probabilistische Rechnungen als Alternative zu dem gescheiterten Verfahren.

### 4. Ergebnisse

- AS1: Präsentation der Ergebnisse zum Referenzfall und zur Wiederaufsättigung von Bentonit auf Benipa-Sitzung
- AS2: Präsentation der Ergebnisse zum kolloidgetragenen Transport auf der Benipa-Sitzung. Die Dokumentation des erweiterten Rechenprogramms CHETMAD liegt vor.
- AS5: Das Konzept für einen neuen Prä- und Postprozessor liegt vor.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- AS1+AS2: Dokumentation aller Arbeiten.
- AS3: Untersuchungen zur Überlagerung von Advektion und Konvektion.
- AS5: Entwicklung der modifizierten Prä- und Postprozessors für probabilistische Rechnungen.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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 31.03.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 456.959,00 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 Silo wird von GRS die Gasmigration in den technischen Komponenten (Beton, Bentonit) und im angrenzenden Gebirge untersucht. Unter realistischen Bedingungen soll das Zusammenwirken im Normalfall und im Falle des Versagens der verschiedenen technischen Barrieren bei hohem Druck 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** Ermittlung des Gasdurchbruchdruckes durch die technischen Barrieren, Aufzeigen von Schwachstellen und Gasausbreitung im umgebenden Gebirge (Step C without vent).

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Die Flutung des Gesamtsystems mit Wasser wurde bis Ende 2002 fortgesetzt. Trotz der aufwendigen Abdichtmaßnahmen zeigten sich weiterhin Leckagen im Betonabschlussbauwerk, jedoch konnte ein Systemdruck von etwa 0,55 MPa aufgebaut und konstant gehalten werden.

Die Messungen zur Gasausbreitung in den verschiedenen Bauwerkskomponenten infolge Diffusion wurden wie geplant fortgeführt.

Im Labor wurden die Messungen zur Gas- und Wasserpermeabilität an Proben des Betonverschlusses (Vent) durchgeführt.

### 4. Ergebnisse

Nachdem die Randbedingungen (Druck, Wasserinjektionsrate) im Gesamtsystem weitestgehend konstant gehalten werden konnten, hat sich auch ein konstanter Gasuntergrund infolge Freisetzung aus den Bauwerkskomponenten und dem Gebirge eingestellt.

In den Caissons der Packer, die im Gebirge installiert sind, konnte nur Wasserstoff in den Scherzonen in der Firste bis zu 675 vpm und im Granit im Sohlenbereich bis zu 25 vpm sowie Kohlendioxid bis zu 70 vpm nachgewiesen werden. Kohlenwasserstoffe waren im gesamten Gebirge unterhalb von 5 vpm.

In den Caissons der Gasprobennehmer, die in den verschiedenen Bauwerkskomponenten installiert sind, lag die Konzentration von Wasserstoff im Bereich von 430 bis 710 vpm, von Helium 380 bis 665 vpm, von Kohlendioxid 850 bis 4400 vpm und von Kohlenwasserstoffen 1800 bis 2700 vpm. Signifikante Unterschiede in den verschiedenen Bauwerkskomponenten (Betonsilo, Bentonitdichtung, Streckenverfüllung aus Bentonit/Sand) zeigten sich nicht. Offensichtlich findet ein permanenter Konzentrationsausgleich infolge von Advektion und Diffusion statt.

Die Auswertung der bisherigen Messungen zur Gasdiffusion ergaben Diffusionskonstanten im Bereich von  $10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s. Um diesen Wert abzusichern sollen Anfang 2003 weitere Messungen mit höheren injizierten Gaskonzentrationen folgen.

Die Labormessungen an Proben des Betonverschlusses ergaben:

- Dichte von 1997 kg/m<sup>3</sup>
- Porosität von 17 %
- Gaspermeabilität von  $10^{-11}$  bis  $10^{-10}$  m<sup>2</sup>
- Wasserpermeabilität von 1 bis  $5 \cdot 10^{-10}$  m<sup>2</sup>.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der Diffusionsmessungen in den Bauwerkskomponenten mit Tracergasen höherer Konzentration.
- Im Januar 2003 soll bei NAGRA die Vorgehensweise der Gasinjektion ins Silo und die einzusetzenden Tracergase abgestimmt werden
- Im Labor sollen weitere Messungen zur Gas- und Wasserpermeabilität an Proben der Bentonitdichtung sowie zur Rückhaltung von Schwefelwasserstoff im Beton und Bentonit folgen.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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 30.06.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.572.861,45 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

- TA 1: - Teilnahme am Workshop zum Sorptionsprojekt Phase II der NEA in El Escorial. Diskussion der Benchmarkrechnungen zur Oberflächenkomplexierung und der weiteren Vorgehensweise.
- Verfolgung des EU-Projekts CROP und Darstellung der Konsequenzen für die nationale Forschung in Untertagelabors.
  - Teilnahme an der Sitzung der IGSC-Group der NEA.
  - Festlegung einer Vorgehensweise zur Weiterentwicklung der Transportcodes r3t und GRA-POS zur Beschreibung der Radionuklidausbreitung in Endlagern in Tonformationen.

- Teilnahme an der Arbeitssitzung des von der GRS Köln koordinierten Arbeitskreises über Szenarienanalysen. Diskussion der Szenarienanalyse von NRG aus dem Projekt PROSA. Der Abschlussbericht der GRS Köln über die Arbeiten zur Szenarienanalyse liegt im Entwurf vor.
- EU-Projekt SPIN: Fertigstellung des Abschlussberichts mit CD und einer Projektbroschüre.

- TA 2: - Dokumentation der Arbeiten zum Konvergenzansatz. Verifikation des neuen Konvergenzansatzes durch Vergleich mit gebirgsmechanischen Rechnungen von IfG und DBE.
- Projekt „Scientific and Technical Grounds for Chernobyl NPP Radioactive Waste in Deep Boreholes in Korostensky Crystalline Massiv“ (STCU): Vor dem Hintergrund des vorläufigen Abschlussberichts wurden Konzepte für weiterführende Arbeiten mit dem Ziel einer Standortauswahl bewertet und Empfehlungen ausgesprochen.

#### **4. Ergebnisse**

- TA 1: - EU-Projekt SPIN: Der Abschlussbericht des Projekts wurde fertiggestellt. Eine CD-ROM und eine Projektbroschüre liegen im Entwurf vor.
- TA 2: - Bericht über den neuen Konvergenzansatz liegt im Entwurf vor. Der neue Konvergenzansatz ist in das Nahbereichsmodul LOPOS implementiert. Testrechnungen wurden durchgeführt.

#### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- TA 1: - Teilnahme an den Sitzungen des RWMC.
- Mitarbeit im Komitee zur Vorbereitung des EU-Workshops „Impact of the Excavation Disturbed Zone (EDZ) on the Performance of Radioactive Waste Geological Repositories“.
  - Weiterführung der gemeinsamen Arbeiten mit FZK-INE zur Berücksichtigung des kolloidgetragenen Schadstofftransports in Langzeitsicherheitsanalysen.
  - Festlegung aller notwendigen Arbeiten zur Durchführung einer Langzeitsicherheitsanalyse für ein Endlager in Tonformationen.
  - Übernahme der neuen Sicherheitsindikatoren aus dem Projekt SPIN zur Verwendung in zukünftigen Sicherheitsanalysen.
  - Sichtung ausgewählter internationaler Arbeiten zur Berücksichtigung der Auswirkungen klimatischer Änderungen in Biosphärenmodellen für Langzeitsicherheitsanalysen.
  - EU-Projekt NANet: Teilnahme am Kick-off Meeting des Projekts in Edinburgh, Planung und Verteilung der Aufgaben für die einzelnen Teilnehmer.
  - Teilnahme an weiteren Sitzungen der Arbeitsgruppe zum Thema Szenarienanalysen.
- TA 2: - Sichtung und Zusammenstellung verfügbarer Daten zur Modellierung der Grundwasserbewegung über lange Zeiträume an nationalen und internationalen Standorten.

#### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

#### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

- [1] Brewitz, W.; Noseck, U.: Long-term performance of spent fuel in geological repositories. C. R. Physique 3 (2002) 879-889.
- [2] Becker, D.-A.; Buhmann, D.; Storek, R.; Alonso, J.; Cormenzana, J.-L.; Hugi, M.; van Gemert, F.; O'Sullivan, P.; Laciok, A.; Marivoet, J.; Sillen, X.; Nordman, H.; Vieno, T.; Niemeyer, M.: Testing of Safety and Performance Indicators (SPIN), EUR-19965, 2003.

<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 31.07.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.886.309,42 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 anhand 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 soll einen wesentlichen Beitrag leisten, um faseroptische Monitoringsysteme zur technischen Reife für diese Aufgabe zu führen. Neben der Entwicklung von Monitoring-System-Prototypen ist ihre mehrjährige In-situ-Erprobung in verschiedenen Wirtsgesteinsformationen, sowie ihre Qualifizierung für den Einsatz im Rahmen von Sicherheitsnachweisen 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**

Die Testmessungen faseroptischer Sensoren in der Schachtanlage Konrad, im Endlager Morsleben und im Felslabor Grimsel wurden fortgeführt. Der In-situ-Test des optischen pH-Sensors im Sanierungsbetrieb Königstein (Sachsen) wurde abgeschlossen. Mit der Analyse und Dokumentation der Ergebnisse wurde begonnen.

Im Rahmen von Laborversuchen wurde der Aufbau des Wasserstoffsensors verändert um besseren Reaktionszeiten zu erzielen. Die bisherige Verwendung einer mit der optischen Faser verbundenen Palladiumscheibe führte nicht zu den erwarteten Ergebnissen. In der neu entwickelten Konfiguration wird das Bragg-Gitter mit einem sehr dünnen Mantel aus Palladium überzogen, so dass schnellere Reaktionszeiten zu erwarten sind. Mit der Fabrikation wurde begonnen.

Mit SKB und ANDRA wurde eine Beteiligung am „Temperature Buffer Test“ (TBT) im Untertagelabor in Äspö vereinbart. Im Rahmen dieses Versuches werden zwei Erhitzerbehälter mit einer Bentonit bzw. Bentonit-Sand Ummantelung in einem Bohrloch installiert. Die Beteiligung sieht eine Installation von Druck- und Porenwasserdruck- Sensoren im umgebenden Bentonitmaterial vor. Im Berichtszeitraum wurden die Sensoren gefertigt und kalibriert. Die Installation erfolgt im Januar 2003.

### **4. Ergebnisse**

Erste Analysen zum In-situ-Test des pH-Sensors zeigen, dass das Hysterese-Verhalten des Sensors wesentlich verbessert werden konnte, dass aber das Problem der Langzeitdrift noch nicht abschließend gelöst werden konnte.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Installation der faseroptischen Sensoren im TBT-Test in Äspö

Konrad: Fortführung der Messungen

Grimsel: Fortführung der Messungen und Fehleranalyse

Morsleben: Fortführung der Messungen

Labor: Fortführung der Entwicklungsarbeiten am Wasserstoffsensor

Detaillierte Analyse des pH-Sensor In-situ-Versuchs

Erstellung des Abschlussberichtes

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> IfG, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9259</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung des Spannungszustandes und des gebirgsmechanischen Verhaltens von Versatz und Wirtsgestein in Abhängigkeit von der Temperatur		
<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> 01.04.2000 bis 30.04.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 135.761,29 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kamlot	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit dem von FZK, BGR, GRS, DBE und IfG gemeinsam bearbeiteten Vorhaben wird das Projekt „Thermische Simulation der Streckenlagerung/Verhalten von Versatzmaterial in Strecken“ (TSS/VVS) beendet und abschließend ausgewertet. Entsprechend der Zielsetzung des seit 1985 bearbeiteten Projektes sollen in der abschließenden Auswertephase die gewonnenen Kenntnisse zusammengestellt und anhand von gezielten Detailuntersuchungen vertieft werden. Besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf Untersuchungen, die mit den im Versuchsfeld installierten Messinstrumenten nicht möglich waren und für deren Durchführung daher ein direkter Zugang in die Strecken erforderlich ist. Gemeinsame übergeordnete Ziele dieser Arbeiten sind die weitere Verbesserung der numerischen Modelle zur Berechnung der thermomechanischen Bedingungen im Endlager und die Absicherung von Kennwerten, die für den Bau und die Sicherheitsbewertung des Endlagers benötigt werden.

An dem Projekt sind weitere europäische Partnerinstitutionen beteiligt und es erfolgt eine Co-Finanzierung durch die europäische Kommission.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Untersuchung der Porosität, Permeabilität und Tragfähigkeit von verdichteten Versatzproben aus der Erhitzerstrecke.
- AP 2: Bestimmung der mit der Kompaktion zunehmenden Festigkeit und Steifigkeit von Steinsalzversatz in einer Versatzdruckzelle.
- AP 3: Untersuchung des Langzeittragverhaltens von Steinsalz bei unterschiedlichen Versuchstemperaturen.
- AP 4: Durchführung von Spannungssondierungen im Erhitzerfeld und Vergleichsstandorten im Bergwerk Asse.
- AP 5: Numerische Simulation eines Versatzdruckversuches im Modell und Anwendung des so bestätigten Stoffansatzes auf die Modellierung der Versuchsstrecke.



### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Weiterführung der Hydrofrac-Spannungssondierungen im Pfeiler zwischen den Erhitzerstrecken sowie in der nördlichen Zugangsstrecke außerhalb des erwärmten Gebirgsbereiches.
- Durchführung von gekoppelten thermo-mechanischen Modellrechnungen zum Erhitzerversuch im TSDE-Feld in einem vertikalen Modellschnitt.
- Vergleich der berechneten Temperaturen, Konvergenzen, Spannungen und Porositäten mit den Messwerten.
- Erarbeitung der Beiträge „Hydraulic properties of backfill“ und „Triaxial tests“ für den Abschlussbericht.

### 4. Ergebnisse

Die Spannungssondierungen bestätigen die Hypothese von weitreichenden Wechselwirkungen zwischen dem Erhitzerfeld und dem umgebenden kühleren Gebirge. Die Minimalspannungen wirken an beiden Messorten horizontal, dabei im Pfeiler quer zur Längsachse und im Bereich der nördlichen Zugangsstrecke in Richtung Erhitzerfeld. Die berechnete Temperaturausbreitung im Versatz hängt stark von der Temperaturleitfähigkeit und diese wiederum von der Versatzporosität ab. In zahlreichen Fallstudien konnte eine gute Übereinstimmung der berechneten Größen mit den Messwerten im Erhitzerfeld ermittelt werden.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Entsprechend der Vorhabensbeschreibung.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Präsentation zum 5. Projektkoordinierungsgespräch BAMBUS II vom 10. - 12.09.2002 in Peine  
Kamlot, P.; Brückner, D.: „Gebirgsmechanische Untersuchungen zur abschließenden Bewertung des Erhitzerversuches Asse“, Vortrag zum 31. Geomechanik Kolloquium, 15.11.2002 in Freiberg

Beitrag zu einem Poster „Backfilling and Sealing of Repositories for High-Level Radioactive Waste in Rock Salt (BAMBUS Project), EC's FP6-Launch Conference, 11. – 13.11.2002 in Brüssel

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9269</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Abschließende Auswertung des Projektes „Thermische Simulation der Streckenlagerung / Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar“			
<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> 01.04.2000 bis 30.04.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 307.307,38 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Rothfuchs	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Projekt "Thermische Simulation der Streckenlagerung / Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar" wurde die direkte Endlagerung von Brennelementen in selbstabschirmenden Behältern in versetzten Endlagerstrecken in einer Salzformation simuliert. Die Aufheizung wurde am 25.09.1990 gestartet und am 1.02.1999 nach mehr als achtjähriger Versuchsdauer beendet. Die thermischen und thermo-mechanischen Bedingungen im Versatz und Gebirge wurden mit einem geotechnischen Messprogramm erfasst. Die Konvergenz des Steinsalzes und die Kompaktion des Versatzes verliefen deutlich langsamer als erwartet. Um die Ursachen hierfür zu ermitteln, wird eine Versuchsstrecke wiederaufgefahren, um Nachuntersuchungen am Versatz und den Messinstrumenten zu ermöglichen. Mit dieser abschließenden Phase wird das Projekt beendet. Die gewonnenen Erkenntnisse werden zusammengestellt und vertieft, so dass die numerischen Modelle weiterentwickelt und den realen Verhältnissen angepasst werden können. Das Vorhaben wird im Rahmen des Projekts "BAMBUS II" von der Europäischen Union gefördert.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Durchführung des Beprobungsprogramms
- Geotechnische Laboruntersuchungen
- Gasfreisetzungsmessungen
- Chemisch-mineralogische Laboruntersuchungen
- Bergung und Nachuntersuchung von Messinstrumenten
- Abschließende Auswertung und Interpretation der Messergebnisse

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Mineralogische Pilotstudie an aufgeheizten Versatzproben von der Oberfläche der Erhitzerbehälter: Analysen der Universität Göttingen an 5 Dünnschliffen sowie neutronographische Texturanalysen an 5 präparierten Proben am Frank Laboratory of Neutron Physics in Dubna / Russland.
- Vorläufige Bewertung der In-situ-Messergebnisse

### 4. Ergebnisse

- Erste qualitative Untersuchungen an den Dünnschliffen ergaben eine sehr heterogene Zusammensetzung und eine hohe Porosität des Versatzmaterials. Die Korngrößen reichen von  $< 0,01$  mm bis 10 mm. Quantitative Analysen stehen noch aus. Deformations- und Rekristallisationsgefüge aufgrund der Aufheizung konnten nicht festgestellt werden. Für eine endgültige Bewertung ist jedoch ein Vergleich mit Originalversatzmaterial erforderlich.
- Diffraktionographische Texturanalysen ergaben, dass die Intensitätsverteilungen in allen Proben durch Einkristallreflexe dominiert werden, bedingt durch das Auftreten von z.T. sehr großen Körnern. Aus den Intensitätsverteilungen und der räumlichen Verteilung der Einkristallreflexe kann keine Kristallgitterregelung abgeleitet werden, so dass auch in Bezug auf die physikalischen Materialeigenschaften keine texturbedingten Anisotropien zu erwarten sind. Es muss jedoch noch geprüft werden, ob durch Unterdrückung des Einflusses der Einkristalle eine Vorzugsorientierung nachgewiesen werden kann.
- Die Nachkalibrierungen der verschiedenen Messgeber hatten nur geringe Abweichungen von der Originalkalibrierung ergeben, die noch fast durchgehend innerhalb der Toleranz der Werksgenauigkeit lagen. Somit kann von einer hohen Zuverlässigkeit der In-situ-Messwerte ausgegangen werden, die durch die Ergebnisse der Laboruntersuchungen bestätigt wurde. Ein neuer Ansatz zur Berechnung der In-situ-Porositäten aus den Konvergenzmessungen unter Berücksichtigung der Erhitzerbehälter ergab niedrigere Porositätswerte, die sehr gut mit den an Versatzproben im Labor ermittelten Porositäten übereinstimmen.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Bewertung der chemisch-mineralogischen Pilotstudie hinsichtlich erforderlicher weiterführender Untersuchungen an aufgeheizten Versatzproben
- Abschließende Bewertung der In-situ-Messergebnisse

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Pudewills, J. Droste: Numerical Modeling of the Thermomechanical Behavior of a Large-scale Underground Experiment, Computers and Structures, 2002 (in print)

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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 29.02.2004		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 528.929,14 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

**AP 1:** - Wartung der Messanlage

- Beginn der Messungen im Array zwischen den Bohrlöchern 5 und 6
- Laufende Auswertung der Messungen in den bereits installierten Arrays.

**AP 2:** - Ermittlung der Resistivitäten von Granitproben in Abhängigkeit von der Sättigung und der Temperatur (20 °C, 35 °C, 70 °C).

### 4. Ergebnisse

**AP 1:**

- Im August und September 2002 wurden zwei Einsätze zur Inbetriebnahme der Messungen im Array zwischen den Bohrlöchern 5 und 6 sowie zur jährlichen Wartung der Messanlage durchgeführt. Alle Arbeiten wurden erfolgreich durchgeführt. Die Messanlage arbeitet einwandfrei. Im Dezember fiel allerdings ein Schaltrelais der Telefonverbindung aus, was baldmöglichst zu reparieren ist.
- Die Auswertung der laufenden Messungen zeigt, dass die Resistivität in der verfüllten Sektion 1 der Strecke allmählich abnimmt, was einer Aufsättigung des Versatzes entspricht. Die Aufsättigung erfolgt homogen. Die Resistivität liegt zur Zeit um  $7 \Omega m$ , was einem Wassergehalt um 16 % entspricht. Die ersten Messungen in den Bohrlöchern in der Sohle zeigen ein vollgesättigtes Gebirge.

**AP 2:**

- Die Untersuchungen haben ergeben, dass die Resistivitäten der Granitgesteinsproben deutlich von der Sättigung abhängen und mit abnehmender Sättigung ansteigen. Die Resistivitäten ergaben sich bei Vollsättigung zu ca.  $2.218 \Omega m$  bis ca.  $10.588 \Omega m$ . Bei den trockenen Proben lagen die Resistivitäten bei ca.  $105.900 \Omega m$  bis zu  $53.0294 \Omega m$ . Ein eindeutiger Einfluss der Temperatur war nicht zu beobachten. Lediglich bei geringen Sättigungen unter 20 % waren etwas niedrigere Resistivitäten im Vergleich zu den bei höheren Temperaturen gemessenen Resistivitäten festzustellen.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

**AP 1:-** Durchführung der Installationen im Buffer des Bohrloches 5 und im Versatz der Sektion 2

- Weiterführung der laufenden Messungen und Auswertungen.

**AP 2:-** Erstellung eines zusammenfassenden Berichts über alle durchgeführten Laborkalibrierungen.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9289</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Versuchsfeldaufwältigung und Rückgewinnung von Materialproben und Messeinrichtungen	
<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> 01.04.2000 bis 30.04.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 562.744,21 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Bollingerfehr

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit dem von BGR, GRS, IfG, DBE und FZK gemeinsam bearbeiteten Vorhaben wird das Projekt "Thermische Simulation der Streckenlagerung / Verhalten von Versatzmaterial in Strecken" (TSS/VVS) beendet und abschließend ausgewertet. Vor dem Hintergrund der Zielsetzung des seit 1985 bearbeiteten Projekts sollen in der abschließenden Auswertephase die gewonnenen Kenntnisse zusammengestellt und anhand von gezielten Detail-Untersuchungen vertieft werden. Besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf Untersuchungen, die mit den im Versuchsfeld installierten Messinstrumenten nicht möglich waren und für deren Durchführung daher ein direkter Zugang in die Strecken erforderlich ist. Gemeinsame übergeordnete Ziele dieser Arbeiten sind die weitere Verbesserung der numerischen Modelle zur Berechnung der thermomechanischen Bedingungen im Endlager und die Absicherung von Kennwerten, die für den Bau und die Sicherheitsbewertung des Endlagers benötigt werden.

An dem Projekt sind weitere europäische Partnerinstitutionen beteiligt und es erfolgt eine Co-Finanzierung durch die europäische Kommission.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Rahmen des Gemeinschaftsvorhabens arbeitet die DBE an folgenden Arbeitspaketen:

#### AP 5: Messinstrumente

- Untersuchung der Ursachen für den Ausfall bestimmter Messgeräte
- Überprüfung der Genauigkeit der Messgeräte in Hinblick auf die Zuverlässigkeit der angezeigten Messergebnisse

#### AP 6: Modellierung

- Weiterentwicklung von Stoffgesetzen für das Versatzmaterial Salzgrus
- Weiterentwicklung der Modellierungsverfahren für gekoppelte thermomechanische Rechnungen

#### AP 7: Retrievability

- Untersuchungen zur Rückholbarkeit von eingelagerten Kokillen
- Untersuchungen zur Rückholbarkeit von POLLUX-Behältern

#### AP 8: Dokumentation

- Dokumentation der Ergebnisse des seit 1985 bearbeiteten Projekts

#### AP 9: Versuchsfeldbetrieb

- Aufwältigung der Versuchsstrecke
- Probenahme an Versatzmaterial

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- AP 5: Auf Basis der Auswertung von zurückgewonnenen Messsensoren wurden Empfehlungen zum Einsatz von Überwachungsmesseinrichtungen erarbeitet.
- AP 6: Mit dem Heinschen Stoffgesetz wurden Testrechnungen an einem vereinfachten Modell durchgeführt, um den Einfluss der Diskretisierung und der thermischen Randbedingungen zu bestimmen. Eine Benchmarkberechnung wurde auf der Basis eines 3D-Modells, in dem die Symmetrie der Einlagerungsstrecken berücksichtigt wurde, durchgeführt, wobei das Versatzmaterial mit dem Heinschen Stoffgesetz beschrieben wurde und adiabate Randbedingungen verwendet wurden.
- AP 7: Der Bericht zur Untersuchung der Rückholbarkeit eingelagerter Pollux-Behälter wurde abgeschlossen. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden projektintern präsentiert und diskutiert.
- AP 8: Es wurde eine Datenbank entwickelt zur Erfassung und Dokumentation der wesentlichen Projektunterlagen, die seit 1985 erstellt wurden. Die Dateneingabe wurde abgeschlossen.

### 4. Ergebnisse

- AP 5: Die eingesetzten Temperatursensoren können wegen der festgestellten starken Drift nicht für Endlagerüberwachungsmaßnahmen empfohlen werden. Die Konvergenzmesseinrichtungen hingegen lieferten plausible Werte und haben ihre Robustheit für einen Untertageeinsatz bewiesen.
- AP 6: Die Ergebnisse der Testrechnungen zeigen, dass die Diskretisierung und die thermischen Randbedingungen einen mit der Zeit zunehmenden Einfluss auf die Berechnungsergebnisse haben. Die Ergebnisse der Benchmarkberechnung mit dem Heinschen Stoffgesetz zeigen im Vergleich mit den Messwerten eine gute Übereinstimmung, erst in der zweiten Hälfte des Betrachtungszeitraums ergeben sich durch die Annahme adiabater Randbedingungen zunehmende Abweichungen. Gegenüber vorangegangenen Berechnungsergebnissen wird insbesondere der Zeitverlauf des Spannungszustands durch die Anwendung des Heinschen Stoffgesetzes besser bestimmt.
- AP 8: Es wurde eine Datenbank erstellt, die eine schnelle Übersicht über die projektrelevanten Unterlagen ermöglicht und angibt, wo sich die Originale in welcher Form befinden.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- AP 5: Zuarbeit zum Projektabschlussbericht.
- AP 6: Die Berechnungen zur Benchmarksimulation werden an einem 3D-Modell mit verbesserter Diskretisierung und isothermen Randbedingungen fortgeführt.
- AP 7: Zuarbeit zum Projektabschlussbericht.
- AP 8: Abschluss der Dateneingabe in die Datenbank und Zuarbeit zum Projektabschlussbericht.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Bollingerfehr, W.: The Results of the BAMBUS Project and their Transferability to Repository Conditions, Presentation at the EU Launch Conference to the 6<sup>th</sup> Research Framework Programme (2002-2006) , Brussels, 11 – 13 November, 2002

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9299</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen über die Komplexierung und die Migration von Aktiniden und nichtradioaktiven Stoffen mit Huminsäuren unter geogenen Bedingungen – Komplexierung von Huminsäuren mit Aktiniden in der Oxidationsstufe IV Th, U, Np		
<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 30.06.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 430.723,98 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Bernhard	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens sind Beiträge zur realitätsnahen Beschreibung der Komplexierung und Migration von Actiniden in reduzierenden Systemen in Gegenwart von Huminsäuren. Diese bilden die Grundlage für zuverlässige Prognosen zur Ausbreitung radioaktiver und toxischer Schadstoffe, sowohl im Hinblick auf künftige Zwischen- und Endlager für radioaktive Abfälle als auch bei der Sanierung kontaminierter Flächen aus allen Phasen des Brennstoffkreislaufs, vom Erzabbau bis hin zur Stilllegung von Kernkraftwerken. Unter Einsatz verschiedener natürlicher, synthetischer und modifizierter Huminsäuren werden thermodynamische und kinetische Parameter zur Wechselwirkung vierwertiger Actinide (U, Th, Np) mit Huminsäuren unter reduzierenden Bedingungen bestimmt. Das Sorptionsverhalten von U(IV) und Th(IV) an relevanten Gesteinen in Gegenwart von Huminsäuren wird in Säulenexperimenten untersucht. Die erhaltenen Ergebnisse sollen in geeignete Modellierungsprogramme zur Bestimmung von Speziation und Migration integriert werden. Das Forschungsvorhaben erfolgt in Kooperation mit den Förderprojekten 02 E 9309 und 02 E 9329.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Sichtung der Literatur zur Komplexierung von Huminsäuren mit vierwertigen Actiniden. Aufrüstung des FTIR-Spektrometers und Installation eines neuen Lasersystems
2. Synthese von Modellhuminsäuren, einschließlich deren Modifizierung, <sup>13/14</sup>C-Markierung und Charakterisierung. Herstellung von Lösungen vierwertiger Actinide
3. Untersuchung der Komplexierung vierwertiger Actinide (U, Th, Np) mit Huminsäuren unter Verwendung synthetischer und natürlicher Huminsäuren
4. Untersuchung der Redoxstabilität der Humatkomplexe und der Komplexbildungskinetik
5. Säulenexperimente zur Migration von U(IV) und Th(IV) in Gegenwart von Huminsäuren
6. Softwareentwicklung und Modellanpassung in EQ 3/6 für Speziation und Migration, Einbindung eines Modells zur Beschreibung der Huminsäure-Komplexierung
7. Modellierung von Speziation und Transport
8. Aufbau einer HS-Komplexierungsdatenbank



### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Charakterisierung der synthetischen Huminsäure (HS) Typ [<sup>14</sup>C]M42 für IIF Leipzig
- Bestimmung von Fe(III)-Redoxkapazitäten verschiedener synthetischer und natürlicher HS bei pH 9,2
- Untersuchung des Einflusses phenolischer/acider OH-Gruppen auf die Redoxeigenschaften von HS, Einsatz chemisch modifizierter synthetischer und natürlicher HS mit blockierten phenolischen/aciden OH-Gruppen
- Fortführung der Batchexperimente zum Einfluss von HS auf die Th(IV)-Sorption an Quarz; Untersuchung der pH-Abhängigkeit der HS-Sorption an Quarz (HS [<sup>14</sup>C]M42); Bestimmung der pH-Abhängigkeit der Th(IV)-Sorption in Gegenwart und in Abwesenheit von synthetischer HS Typ [<sup>14</sup>C]M42
- Aufbau des Säulenexperiments zur Untersuchung der Migration von Th(IV) bzw. U(IV) im Laborsystem Quarzsand/Wasser/HS [<sup>14</sup>C]M42; Vorversuche zum HS-Transport im untersuchten Laborsystem (HS Typ M42, kontinuierliche HS-Injektion)

### 4. Ergebnisse

Die synthetische HS Typ [<sup>14</sup>C]M42 wurde hinsichtlich Struktur und Funktionalität (COOH, PEC) charakterisiert. Sie zeigt mit der inaktiven HS Typ M42 vergleichbare Eigenschaften.

Die durch Oxidation von Polyphenolen (Hydrochinon bzw. Brenzcatechin) in Gegenwart von Aminosäuren (Glycin bzw. Glutaminsäure) gewonnenen huminsäureartigen Produkte zeigen auch bei pH 9,2 signifikant größere Fe(III)-Redoxkapazitäten (RC) als Aldrich HS. Die RC der Oxidationsprodukte sind bis zum Faktor 4 größer als die RC der Aldrich HS.

Chemisch modifizierte HS mit blockierten phenolischen/aciden OH-Gruppen zeigen signifikant kleinere Fe(III)-RC als die nicht modifizierten HS. Dieses Ergebnis zeigt, dass phenolische/acide OH-Gruppen das Redoxverhalten von HS gegenüber Fe(III) dominieren.

HS Typ [<sup>14</sup>C]M42 und Th(IV) zeigen ein stark vom pH-Wert abhängiges Sorptionsverhalten an Quarz. Zwischen pH 3 und pH 4,5 wird die Th(IV)-Sorption in Gegenwart von HS verstärkt.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der Säulenexperimente zum Migrationsverhalten von Th(IV) und U(IV) unter reduzierenden Bedingungen, Einsatz der <sup>14</sup>C-markierten HS Typ M42 zur Bilanzierung des HS-Transports und der HS Typ R18 mit ausgeprägter Redoxfunktionalität zur Stabilisierung von U(IV)
- Spektroskopische Studien zur U(IV)-Komplexierung durch HS
- Studium der Redoxstabilität von U(VI)-Humat-Komplexen auch unter Berücksichtigung der Reduktionskinetik; Einsatz der HS mit ausgeprägt reduzierenden Eigenschaften
- Sichtung und Bewertung von Daten zur HS-Komplexierung, Eingabe in die digitale HS-Komplexierungs-Datenbank

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55099 Mainz		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9309</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nichtradioaktiven Stoffen		
<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 30.06.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 454.523,93 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Trautmann	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Studien über die Wechselwirkung zwischen Huminsäuren und den Ionen des Neptuniums und Plutoniums in verschiedenen Wertigkeitsstufen sowie einiger Schwermetalle in Abhängigkeit verschiedener geochemischer Faktoren.

Hydrolysereaktionen und Kinetik der Komplexbildung und Redoxverhalten der Aktiniden in Huminsäurelösungen. Einfluss von anderen Kationen und anionischen Komponenten. Untersuchungen über das Sorptionsverhalten der Humatkomplexe in Säulenexperimenten. Modellierung der erhaltenen Daten mit geeigneten Programmen.

(Universität Mainz und Universität Saarbrücken als Auftragnehmer)

Zusammenarbeit mit dem Institut für Radiochemie des Forschungszentrums Rossendorf und dem Institut für Nukleare Entsorgungstechnik des Forschungszentrums Karlsruhe.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Komplexierungsverhalten von Np und Pu in verschiedenen Oxidationsstufen mit Huminsäuren unter umweltrelevanten Bedingungen; Studien zum Redoxverhalten von Np(V) und Pu(VI) in Huminsäurelösungen sowie zur Kinetik und Reversibilität der Humatkomplexbildung; Untersuchungen über das Sorptionsverhalten der Aktinidenhumatkomplexe in Säulenversuchen (Institut für Kernchemie der Universität Mainz).

Komplexbildung von Zn, Cd und Pb mit synthetischen Huminsäuren; Untersuchungen zur Konkurrenzsituation bei Komplexierungsreaktionen mit Huminsäuren sowie zur Wechselwirkung zwischen Anionen und Huminstoffen in Batch- und Säulenversuchen (Institut für Anorganische und Analytische Chemie und Radiochemie Saarbrücken).

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Der neue cross-flow Vernebler sowie eine neue Kombination aus einem Micromist Vernebler und einer Cinnabar Cyclonic Sprühkammer wurden getestet und optimiert. Für die CE-ICP-MS Kopplung wurden Messungen zur Reproduzierbarkeit und zur Bestimmung der Nachweisgrenze mit Plutonium durchgeführt.

In Mainz wurde ein ICP-MS Gerät in Betrieb genommen, welches mit einer CE gekoppelt werden soll. Die Plutonium-Säulenversuche wurden in Zusammenarbeit mit dem FZK/INE fortgeführt und zu einem gewissen Abschluss gebracht. Für weitere Messungen und Vergleiche wurde ein aus der Literatur bekanntes System zur Trennung der Oxidationsstufen des Plutoniums durch Ionenchromatographie aufgebaut (Uni Mainz).

Es wurden Batchversuche im System Seesand-Metall-Huminsäure durchgeführt, wobei pH-edges mit (5 ppm und 25 ppm) und ohne Huminsäure für Cu, Cd, Zn und Pb im pH-Bereich von 3-9 ermittelt wurden. Weiterhin wurden für alle Metalle im Konzentrationsbereich von  $10^{-8}$  mol/l bis  $10^{-3}$  mol/l Adsorptionsthermen mit (25 ppm) und ohne Huminsäure aufgenommen. Es wurde außerdem der Einfluss von Ca auf die Bindung der Metalle an Seesand bzw. Seesand-Huminsäure bei pH 4, 6 und 7 untersucht. Die Zeitabhängigkeit der Adsorption/Desorption und die Konditionierung der Huminsäurelösung mit Schwermetallen wurden ebenfalls berücksichtigt. Mit Hilfe des Speziationsprogrammes MINEQL+ wurde für jeden Versuch eine ausführliche Speziation durchgeführt. Es stehen jetzt rund 1000 Messpunkte zur weiteren Modellierung zur Verfügung (Uni Saarbrücken).

#### 4. Ergebnisse

Mit allen in der Umwelt relevanten Oxidationsstufen des Plutoniums (Pu(III), Pu(IV), Pu(VI)) wurden Säulenversuche durchgeführt. Dabei konnte beobachtet werden, dass Plutonium stärker an der Festphase retardiert wird als Americium unter ähnlichen Bedingungen.

Die Entwicklung der CE-ICP-MS Kopplung ist abgeschlossen und die Probleme mit dem Vernebler konnten durch den Einsatz des Micromist Vernebler und der Cinnabar Cyclonic Sprühkammer behoben werden. Die Reproduzierbarkeit der Messungen ist gut. Die Standardabweichung der Peakflächen ist unter 4,5 % (N=5). Die Nachweisgrenze liegt mit dieser Kombination bei 50 ppb. Weitere Vergleichsmessungen mit der Absorptionsspektroskopie zeigen eine gute Übereinstimmung nicht nur für Pu(VI), sondern auch für andere Oxidationsstufen des Plutoniums (Uni Mainz).

Die pH-edges zeigen den erwarteten S-förmigen Verlauf, wobei die Adsorption mit steigendem pH zunimmt. Für die Adsorption gilt die Reihenfolge  $Cd < Zn \ll Cu < Pb$ . Mit steigender Huminsäurekonzentration ändert sich der qualitative Verlauf der Kurven kaum, allerdings nimmt die Menge an gesamt gebundenem Metall ab; ohne Huminsäure sind mehr als 99 % des Metalls gebunden, bei 25 ppm Huminsäure nur noch knapp 90 %. Die Adsorption der schwach komplexierenden Metalle Cd und Zn wird durch die Huminsäure weniger beeinflusst als die der stärker komplexierenden Metalle Cu und Pb. Die Adsorptionsisothermen entsprechen dem erwarteten Verlauf (Uni Saarbrücken.).

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

Die Komplexbildungskonstanten für verschiedene Oxidationsstufen des Plutoniums (insbes. Pu(IV)) mit Huminsäure sollen in Abhängigkeit vom pH-Wert und der Metallionenkonzentration bestimmt werden. Weiterhin soll die Reversibilität der Komplexbildung untersucht werden (Uni Mainz).

Einige Experimente müssen noch ausgewertet und die  $K_d$ -Werte der Adsorptionsisothermen bestimmt werden. Die Erkenntnisse aus den Batchversuchen sollen auf Säulenversuche übertragen werden. Geplant sind Säulenversuche mit 25 ppm Huminsäure und ohne Huminsäure bei jeweils pH 6 und pH 7. Außerdem soll untersucht werden, ob aus den Batchversuchen ein Modell erstellt werden kann, das die Vorhersage von Durchbruchkurven im System Metall-Huminsäure-Seesand ermöglicht (Uni Saarbrücken).

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9329</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Komplexierung und Migration von Al, Ga, In, Sc, Y, La und Schwermetallen mit Huminsäure		
<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 30.06.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 275.645,94 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kupsch	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gegenstand des Projektes ist die Komplexierung und Sorption von Actiniden in Wechselwirkung mit mobilen und immobilisierenden Huminkolloiden unter geogenen Bedingungen. Der Einfluss der veränderlichen Milieuparameter auf die Fest-Flüssig-Verteilung der Schwermetalle wird unter relevanten Konzentrationsverhältnissen vermessen. Dazu werden radioaktive Isotope der Seltenerdmetalle als kurzlebige Analogtracer eingesetzt und natürliche, radiochemisch markierte Huminsäuren verwendet. Ein Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung von Konkurrenzeffekten der dreiwertigen Elektrolytbestandteile, insbesondere Aluminium. Die Konkurrenzreaktionen werden mit radioanalytischen Methoden erfasst und kinetische Abhängigkeiten bestimmt. Die Untersuchungen dienen der Beurteilung des Ausbreitungsverhaltens radioaktiver Schwermetalle in huminstoffhaltigen Geosystemen.

Zusammenarbeit mit folgenden Einrichtungen:

- Forschungszentrum Rossendorf e.V., Institut für Radiochemie
- Universität des Saarlandes, Institut für Anorganische und Analytische Chemie und Radiochemie
- Universität Mainz, Institut für Kernchemie
- Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Nukleare Entsorgungstechnik

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Beprobung und Präparation der natürlichen Huminsäuren
- Charakterisierung und Vergleich der Huminsäuren Aldrich und Carlsfeld
- Vergleichende Studien an den Huminsäuren zur Komplexbildung mit La und Tb als Analogtracer der Actiniden in der wässrigen Phase unter geochemisch relevanten Konkurrenzbedingungen
- Vermessung von Konkurrenzreaktionen geogener Kationen (Elemente der dritten Haupt- und Nebengruppe) zur Komplexbildung und Sorption der Schwermetalle mit Huminsäuren
- Säulen- und Batchversuche zur Bestimmung der Sorptionsparameter mit der SCA
- Vermessung der reversiblen und irreversiblen Vorgänge der Sorption und Filtration mittels radioanalytischer Methoden
- Untersuchung des pH-abhängigen Sorptionsverhaltens von Huminsäure an Granit, Phyllit und Diabas mit radioanalytischen Methoden
- Untersuchung des pH-abhängigen Sorptionsverhaltens von Tb (Analogtracer für Actinide) an Granit, Phyllit und Diabas in An- und Abwesenheit von Huminsäure.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Abschluss der Säulenversuche mit Sand, Granit, Phyllit und Diabas zur Erfassung der permanenten Immobilisierung von Huminstoffen unter dynamischen Bedingungen
- Untersuchung der pH-Abhängigkeit der Humatkomplexbildung von [ $^{160}\text{Tb}$ ]Tb
- Beginn der Untersuchungen zur pH-abhängigen Sorption von [ $^{160}\text{Tb}$ ]Tb an Sand, Granit, Phyllit und Diabas in An- und Abwesenheit von Huminsäure

### 4. Ergebnisse

Das Retentionsverhalten verschiedenartiger Huminstoffe an Geomatrices unter Fließbedingungen wurde systematisch mit Hilfe einer Säulenapparatur untersucht. Dazu wurden Schüttungen aus Sand, Granit, Phyllit und Diabas verwendet und radiomarkierte Huminstoffe ( $^{111}\text{In}$ ,  $^{131}\text{I}$ ) in neutraler Lösung eingesetzt. In allen Fällen zeigte sich, dass ein Teil des Huminstoffsystems einer permanenten Immobilisierung unterliegt und nur durch Elution mit Laugen wieder freigesetzt werden kann. Im Unterschied zu Batchversuchen kann mit dieser Versuchsanordnung also zwischen reversibler und irreversibler Adsorption unterschieden werden. Substanzspezifische Unterschiede in der Verteilung von mobilen und immobilisierten Speziesanteilen, wie sie gegenüber organischen Gelmatrices beobachtet werden, treten bei der elektrostatisch dominierten Adsorption an Gesteinsoberflächen kaum zutage. Auch unterscheiden sich die einzelnen Geomaterialien in ihrem Retentionsvermögen nicht wesentlich. Anhand der Markierungen konnte festgestellt werden, dass sich die Humatkomplexbildung mit höherwertigen Metallen auf die immobilisierten Anteile konzentriert bzw. dass die betroffenen Einheiten infolge der Wechselwirkung verstärkt adsorbiert werden.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Untersuchung des pH-abhängigen Sorptionsverhaltens von Huminsäure an Sand, Granit, Phyllit und Diabas mit radioanalytischen Methoden
- Fortsetzung der Untersuchungen zur pH-abhängigen Sorption von [ $^{160}\text{Tb}$ ]Tb an Sand, Granit, Phyllit und Diabas in An- und Abwesenheit von Huminsäure
- Abschluss der vergleichenden Untersuchungen zur Humatkomplexbildung von Metallen der dritten Haupt- und Nebengruppe
- Vervollständigung des Datenmaterials zum Adsorptionsverhalten verschiedener Huminstoffe an Sand
- Abschließende Berichterstattung

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

H. Lippold, D. Rößler, H. Kupsch, "Investigations on Hydrophilicity and Mobility of Humic Substances Using Radiolabelling Techniques", Proceedings of the 9th International Symposium on Environmental Radiochemical Analysis, Maidstone (UK), 18–20 September 2002, Royal Society of Chemistry, Cambridge (UK), 2002, *in Druck*

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-BAF, Akademiestraße 6, 09596 Freiberg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9330</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen		
<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> 01.05.2000 bis 30.04.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 186.611,31 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Voigt	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Hauptziel des Vorhabens ist es, anhand von Laboruntersuchungen die Kenndaten für die Modellierung der Ausbreitungsvorgänge bei der Einlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle zu erarbeiten. An der TU-BAF werden dabei folgende Teilziele verfolgt:

- Einfluss der Kopplung von Druck und Temperatur auf das Durchlässigkeitsverhalten
- Auswertung u. Aufstellung eines geeigneten Modells zur Beschreibung der gekoppelten Temperatur- u. Druckabhängigkeit der NaCl-Löslichkeit und Erstellung einer kinetischen Gleichung für den Stofftransport
- Quantifizierung des Einflusses HAW- u. DE-typischer Temperatur- u. Druckverhältnisse auf das Durchlässigkeitsverhalten von Steinsalz u. kompaktiertem Versatzmaterial

Dieses Vorhaben wird im Verbund mit der BUTEC Umwelttechnik GmbH (vormals BATTELLE Ingenieurtechnik GmbH) und der TU Darmstadt bearbeitet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die TU Bergakademie Freiberg bearbeitet folgende Teilthemen:

- AP 1 Beschaffung, Herstellung von Probekörpern
- AP 5 Untersuchung der Einflüsse von Druck u. Temperatur auf Umlöseprozesse am NaCl-Einzelkristall
- AP 7 Modellierung der untersuchten Phänomene
- AP 8 Auswertung u. Bewertung der Untersuchungsergebnisse

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Modifizierung der Apparatur zur Bestimmung der NaCl-Löslichkeit in Abhängigkeit von Druck u. Temperatur
  - für Drücke bis 200 bar
  - für Temperaturen bis 100 °C
- Durchführung erster Versuche zur Bestimmung der NaCl-Löslichkeit
  - bei 80 °C und Drücken bis 200 bar
  - bei 100 °C und Drücken bis 100 bar

### **4. Ergebnisse**

- Messergebnisse zur NaCl-Löslichkeit bei 80 °C und Drücken bis 200 bar und bei 100 °C und 100 bar liegen vor.
- Im bisher untersuchten Druck- und Temperaturbereich steigt die NaCl-Löslichkeit mit Druck und Temperatur, weicht jedoch bei 80 °C und 100 °C vom Pitzer-Peiper-Busey-Modell ab.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Ursachen für die Abweichungen der Messergebnisse bei 80 °C und 100 °C vom Pitzer-Peiper-Busey-Modell werden gesucht.
- Durchführung weiterer Versuche zur Untersuchung des Einflusses des Druckes auf Umlöseprozesse an durchströmten Kapillaren im NaCl-Einkristall.
- Vergleich der spannungsabhängigen Umlöseuntersuchungen am NaCl –Einkristall mit den Um- und Auflöseerscheinungen an polykristallinen Steinsalzproben (BUTEC Umwelttechnik GmbH)
- Abschließende Auswertung und Abschlussbericht

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> BUTEC Umwelttechnik GmbH, Im Kusterfeld 32/1, 71522 Backnang		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9340</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen		
<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> 01.05.2000 bis 30.04.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 883.460,67 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Fröhlich	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bereitstellung von Durchlässigkeitskenndaten für die Modellierung von Ausbreitungsvorgängen bei der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle

- Entwicklung und Fertigung geeigneter Apparaturen und einer geeigneten Messtechnik zur Bestimmung der Permeabilität bei Temperaturen bis 150 °C
- Untersuchung und Quantifizierung der Einflüsse der chemischen Reaktionen zwischen Lauge und Salz sowie der Löslichkeiten und Umkristallisation auf das Durchlässigkeitsverhalten von kompaktiertem Salzgrus
- Quantifizierung der Abhängigkeit des zeitlichen Permeabilitätsverhaltens von der chemischen Zusammensetzung des Salzes und der Lauge

Durchführung als Kooperationsvorhaben mit der TU Bergakademie in Freiberg.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Modifizierung und Erweiterung der vorhandenen Versuchsapparaturen zur Messung der Durchlässigkeit von Salzgrus gegenüber Laugen bei Temperaturen von bis zu 150 °C
- Test neuer Messmethoden zur Bestimmung der Durchlässigkeit bei diesen Temperaturen
- Entwicklung einer visuellen Methode zur Beobachtung und Bewertung der Umlöse- und Rekrystallisationsvorgänge
- Untersuchung des Durchlässigkeitsverhaltens von Steinsalz gegenüber Laugen bei hohen Temperaturen



### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Modifizierung der Permeabilitätsmessanlagen: Optimierung der Laugenförderung durch verändertes hydraulisches Konzept. Änderung des Blasenmaterials zur Verbesserung der mech. Langzeitstabilität
- Weiterführung der Permeabilitätsmessungen an A9-Salzkerne mit Lauge bei Temperaturen von 90 °C und 130 °C
- Konzipierung einer neuen Fördereinheit für Lauge bei 150°C (HC-22 Membranbalgeinheit statt Kautschukblasen) inkl. Mess- und Regeltechnik (Druckregelung) zur Erhöhung der Standzeit bei der Grenztemperatur. Bei 150 ° C beträgt die Standzeit der bisher verwendeten Blasen max. 500 h.
- Visualisierung der Porenstruktur von A4-Salzproben: Probenpräparation mit gefärbten Epoxydharzen (Safranin)
- Mikroskopische Untersuchungen an A4-Salzkerne vor und nach dem Durchströmen mit Lauge und Vergleich der Porenstruktur
- Siebanalyse von A4-Salz

### 4. Ergebnisse

- Bei der mikroskopischen Untersuchung an Schlifffbildern eines A4-Salzkerne nach Durchströmen mit Lauge erhält man ein Gefüge, das in Teilbereichen infolge von Auflösprozessen der Mg-haltigen Kristallphasen stark zerklüftet ist. Durch gleichzeitige Umlöseprozesse bei der Kompaktion ergaben sich in anderen Teilbereichen dichte Strukturen u.a. mit Durchdringung von Kristalliten (Ausheilungsprozesse).
- Signifikante Unterschiede in der Porenstruktur der Salzkerne von A4- und A9-Salzen nach der Durchströmung mit Lauge.
- Bei der Permeabilitätsmessung von A9-Salzen bei 90°C wurde eine starke Kopplung des Permeabilitäts- und Porositäts- bzw. Volumenänderungsverhaltens im primären Kriechbereich (ca. die ersten 300 h) festgestellt, beide Werte nehmen simultan ab. Im anschließenden sekundär-stationären Kriechbereich nimmt die Permeabilität nur unwesentlich ab bei weiterer Kompaktion des Salzkerne.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Permeabilitätsmessungen mit Lauge bei Temperaturen von 90 °C, 130 °C und 150 °C
- Permeabilitätsmessung mit Isooktan, um die bei der Kompaktion auftretenden mechanischen Beiträge (z.B. Korngrenzengleiten) von chemischen Beiträgen (Um- und Auflösprozesse, z.B. Drucklösung) zu trennen
- He-pyknometrische Dichtemessung von A4-Salzkerne nach der Durchströmung mit Salzlauge
- Weiterführung der Hg-Porosimetrischen Untersuchungen zur Quantifizierung der Porenradienverteilung und dem Verzweigungsgrad
- Vergleich der spannungsabhängigen Umlöseuntersuchungen am NaCl –Einkristall (TUBAF) mit den Um- und Auflöserscheinungen an polykristallinen Steinsalzproben
- Abschließende Auswertung und Abschlussbericht

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstraße 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9360</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> 01.06.2000 bis 31.05.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 532.152,59 EUR	<b>Projektleiter:</b> Frau 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 Entsorgungstechnik 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

In diesem Vorhabenszeitraum wurden folgende Arbeiten innerhalb der Arbeitspakete I und II ausgeführt:

- (1) Die Möglichkeit von Grundwasserkolloiden, Actiniden zu binden und in die kolloidale Phase zu überführen, wurde anhand des repräsentativen Beispiels Aluminosilcat-Kolloiden weiter untersucht. Die optimalen Bedingungen zur Bildung von stabilen vierwertigen Actinid-Pseudokolloiden durch heterogene Polynukleation von Al, Si und Th(IV) wurden anhand von radiometrischen Messungen (Th-234) und Ultrafiltration ermittelt. Dazu wurden die wichtigsten Einflussparameter wie pH, Konzentration von Al und Si, sowie Reaktionszeit, variiert. Die jeweils eingesetzten Th-Konzentrationen reichten von  $10^{-12}$  M bis zu  $10^{-5}$  M, und sollten nicht nur eine Aussage über die Kapazität des Aluminosilcat-Kolloidsystems als Th-Fänger erlauben, sondern auch über Kolloid-Bildungsmechanismen Auskunft geben.
- (2) Die Eigenkolloidbildung, als weitere Möglichkeit Actiniden in die kolloidale Phase zu bringen, wurde unter Einbeziehung des pH's, der Konzentration von Am(III) und Th(IV) sowie der Reaktionszeit, gleichermaßen untersucht und, soweit vorhanden, mit Literaturdaten verglichen. Weiter wurde die Stabilisierung der Eigenkolloiden von vierwertigen und dreiwertigen Actiniden durch heterogene Nukleation, in Analogie zur Generierung von negativ geladenen aquatischen Kolloiden wie der Aluminosilcat-Kolloiden, getestet. Zu diesem Zweck wurden Kombinationen verschiedener Konzentrationen von Am(III) und Th(IV) bzw. Pu(IV) in Abhängigkeit vom pH auf Polynukleationsmöglichkeit und Kolloidstabilität untersucht. Anhand von radiometrischen Methoden wurden Screeningversuche durchgeführt, um die optimalen Kolloid-Bildungsbedingungen zu erkunden. Schließlich wurden die chemischen Bindungszustände der dreiwertigen Actiniden in der kolloidalen Phase mittels zeitaufgelöste Laser-Fluoreszenz-Spektroskopie (TRLFS) an kolloidgebundenem Cm(III) charakterisiert.

#### 4. Ergebnisse

- (1) Vierwertige Actiniden (Th), die am Bildungsprozess von Aluminosilicat-Kolloiden auf Basis von Si-Oligomeren teilnehmen, werden im Konzentrationsbereich  $10^{-12}$  M bis  $10^{-5}$  M, bei pH 5 bis pH 9, stabil in der kolloidalen Phase inkorporiert. Im Vergleich zu Am(III), ist die Inkorporation von Th(IV) in den Kolloiden höher und optimal in einem breiteren pH-Bereich, aber wesentlich langsamer. Diese Unterschiede spiegeln unterschiedliche Bildungsmechanismen für Pseudokolloide von vierwertigen und dreiwertigen Actiniden wieder. Die Erhöhung der Th-Konzentration resultiert in einer Abnahme und nachfolgenden Zunahme des Th-Einbaus in die kolloidale Phase. Der Effekt deutet darauf hin, dass mindestens zwei verschiedene und gegenläufige Mechanismen der beobachteten Th-Inkorporation zugrunde liegen. Th, das in Tracer-Konzentrationen vorliegt, folgt dem kinetisch bestimmten Verhalten von Si im Kolloid-Bildungsprozess. Th copolymerisiert mit Si, das Al bindet. Die Si/Al-Bindung ist entscheidend für die Entstehung von stabilen Kolloiden. Der Ersatz von Si(Th) durch Al bewirkt eine erhöhte negative Teilchenladung. Ihre gegenseitige Abstoßung blockiert eine weitere Polymerisation bzw. Präzipitation, und ermöglicht die Stabilisierung des kolloidalen Zustands über sehr lange Zeiträume. Bei Erhöhung der Th-Konzentration, führt nicht nur die Al/Si-Bindung, sondern auch zusätzlich die Th/Si-Bindung zu einer Verzögerung der Si-Polymerisation. Eine Verlangsamung der Th-Inkorporation ist die Folge. Bei einer weiteren Erhöhung der Th-Konzentration, kommt nun der Solvatationseffekt von Th zum tragen. In Konkurrenz um Wasser, wird die Polymerisation von Si durch die Anwesenheit von überschüssigem, nicht gebundenem Th, zusätzlich aktiviert bzw. die Si-Polymerisationskinetik beschleunigt. Der Effekt begünstigt den raschen Einbau von Th in den Aluminosilicat-Kolloiden. Die relative Wichtigkeit der zwei gegenläufigen Effekte auf die Si-Polymerisation, nämlich Inhibierung durch Bindung und Aktivierung durch Solvatationseffekt, wird sowohl vom Si/Al/Th-Verhältnis als auch vom pH bestimmt.
- (2) Die Ergebnisse bezüglich der Inkorporation von dreiwertigen und vierwertigen Actiniden in Aluminosilicat-Kolloiden zeigen, dass die Mechanismen zur Stabilisierung des kolloidalen Zustands kontrollierbar sind. Zur Prüfung dieser These wurde versucht, Actinidanalogen von Aluminosilicat-Kolloiden zu synthetisieren. Eine Bindung von Am (Cm) mit Th bzw. Pu, vergleichbar mit der Aluminosilicatbindung, konnte mit TRLFS nachgewiesen werden. Es wurde bestätigt, dass die gleichen Spielregeln, die zur Entstehung von Aluminosilicat-Kolloiden führen, und die auf einer Verlangsamung der Polymerisationsgeschwindigkeit durch Änderung der Ladungsverhältnisse beruhen, grundsätzlich auch auf Am (Cm) und Th bzw. auf Am (Cm) und Pu übertragbar sind. Der Effekt vom Ersatz von vierwertigen durch dreiwertigen Actiniden mit etwa gleich großem Radius scheint jedoch weniger effektiv als der Ersatz von Si durch Al und reicht, zumindest unter den bis jetzt untersuchten Bedingungen, nicht aus um den kolloidalen Zustand auf längere Zeit (> als 30 Tage), und somit signifikant für die Migration von Actiniden in die Geosphäre, zu stabilisieren.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

AP(I) und AP(II):

- Fortsetzung der Untersuchungen über die Möglichkeit der Inkorporation von vierwertigen Actiniden bzw. Eigenkolloiden (Th (IV) und Pu(IV)) in Aluminosilicat-Kolloiden
- Fortsetzung der Untersuchung des Einflusses von begleitenden Grundwasserbestandteilen wie  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+/3+}$ , Huminsäure, etc. auf die Bildung und Stabilität von Aluminosilicat-Kolloiden bzw. auf deren Wechselwirkung mit dreiwertigen und vierwertigen Actiniden

AP(III):

- Fortsetzung der Sorptions- und Stabilitätstests von den erzeugten Pseudokolloiden (Am/ (Th)Pu-Aluminosilikat-Kolloiden) an ausgewählten Geomatrizen

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

- „Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi“, Vortrag präsentiert bei der 8th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere, Bregenz, Österreich
- „Interaction of Actinides with Aluminisilicate Colloids in Statu Nascendi“, Part I: Generation and Characterization of Americium-Pseudocolloids (Colloids and surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects: in print)

In Vorbereitung: „Interaction of Actinides with Aluminisilicate Colloids in Statu Nascendi“, Part II: Spectroscopic Speciation of Aluminosilicate colloid-borne Cm(III)

- „Interaction of Actinides with Aluminisilicate Colloids in Statu Nascendi“, Part III: Influence of the Si-Polymerization Kinetics on the colloid-borne Americium Species

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Stuttgart, Keplerstraße 7, 70049 Stuttgart		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9370</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Weiterentwicklung von Simulationstechniken für Gas-Wasser-Prozesse in geklüftet-porösen Medien auf der Feldskala		
<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> 01.06.2000 bis 31.05.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 406.824,72 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Helmig	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen konstitutive Beziehungen für geklüftet poröse Medien weiterentwickelt werden. Zunächst wird die Rauigkeit von Einzelklüften mit für die konstitutiven Beziehungen verwertbaren Parametern erfasst. Darauf aufbauend werden geostatistische Verfahren für die Aufbereitung von Messdaten und Methoden der schwedischen Partner in die Modellbildung integriert. Um bei der anschließenden Modellierung von Zweiphasen-Strömungen den Übergang Kluft-Matrix abzubilden, ist es notwendig, ein bestehendes Diskretisierungsverfahren um adaptive Methoden zu erweitern. Anschließend sollen Einzelklüfte unter Einbeziehung der neu entwickelten konstitutiven Beziehungen in das Kluft-Matrix-System eingebunden werden. Mit dem Übergang zu kleinräumigen Kluft-Matrix-Systemen ist geplant, die neu formulierten Upscaling-Ansätze zu überprüfen. Gemeinsam mit Herrn J. Jarsjö von der Division of Water Resources Engineering, KTH Stockholm, und der SKB wird ein Feldfall aufgebaut und ausgewertet. Anhand dieses Feldfalls können relevante Daten und Prozesse identifiziert werden. Begleitend dazu sollen entkoppelte Lösungsverfahren und eine gemischte FE-FV-Formulierung zur Reduktion der umfangreichen Rechenzeiten weiterentwickelt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Entwicklung von Upscalingkonzepten zur Übertragung der konstitutiven Beziehungen
2. Einbindung geostatistischer Verfahren in die Modellierung von Kluftnetzwerken
3. Verbesserung der numerischen Methoden zur Berechnung von Systemen auf der Feldskala
4. Untersuchung von Einzelklüften im Hinblick auf Ausgasungsprozesse und konstitutive Beziehungen
5. Aufbau eines Modells auf der Feldskala
6. Dokumentation der Ergebnisse

### 3. Durchgeführte Arbeiten

1. Das Perkolationsmodell wurde um die Dimensionsanalyse erweitert. Es zeigte sich, dass die Kapillarkräfte dominieren, jedoch weniger stark als erwartet. Bei dem Vergleich mit experimentellen Daten muss also der Einfluss von viskosen und Gravitationskräften mit in Betracht gezogen werden. Es wurde ein theoretischer Ansatz entwickelt, mit Hilfe dessen man die Gravitationskräfte und zum Teil auch die viskosen Kräfte in das Perkolationsmodell integrieren kann.
2. Bei der Erzeugung der Kluftöffnungsweiten wurde ein neuer Ansatz entwickelt, der die maximalen Kluftöffnungsweiten begrenzt. Die so erzeugten Kluftöffnungsweiten stimmen besser mit den von der KTH Stockholm / SKB ermittelten Messdaten überein.
3. Das Perkolationsmodell wurde auf verschiedene stochastisch generierte Datenfelder angewandt, deren Eingangsdaten den Messungen der KTH Stockholm / SKB entnommen wurden. Aus diesen Datenfeldern wurde das jeweilige REV ermittelt. Über eine Variation der Drücke wurden konstitutive Beziehungen abgeleitet.

### 4. Ergebnisse

Literaturrecherchen zeigen, dass bei der Ausbreitung der Gasphase in Kluftsystemen die Heterogenitäten innerhalb der Klüfte in Betracht gezogen werden müssen. Dabei spielen die besonderen Eigenschaften von Klüften in Granit eine wichtige Rolle: Im hier betrachteten Rahmen bewirken die starken Variationen der Kluftöffnungsweiten, dass die Gasphase erst bei einer sehr starken Ausgasung mobil wird. Die bislang durchgeführten Arbeiten bestätigen mittels numerischer Simulationen diese bereits experimentell festgestellten Eigenschaften. Es zeigt sich, dass durch die Entgasungseffekte die effektive Permeabilität der Klüfte für Wasser nur durch den Druckabfall um bis zu 50 Prozent abnehmen kann. Diese Ergebnisse decken sich mit den experimentell von KTH Stockholm / SKB ermittelten Daten.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Neben dem Druckabfall soll noch über die Temperatur variiert werden. Die Ergebnisse werden zu einem Projektbericht zusammengefasst.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Es wurden insgesamt fünf Berichte und Veröffentlichungen während dieses Projektes geschrieben. Diese finden sich unter:

<http://www.iws.uni-stuttgart.de/Hydrosys/Publikation/abfrageformular.php3Anfangsjahr:2000,Endjahr:2002,Autor:Jakobs.H.>

<b>Zuwendungsempfänger:</b> IIF e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9380</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Migrations- und Sorptionsuntersuchungen geogener Lösungen in Wirtsgesteinsformationen (Tone, Tongestein, Salzgestein) mittels tomographischer Radiotracerverfahren (PET)		
<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> 01.06.2000 bis 31.05.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 420.198,59 EUR	<b>Projektleiter:</b> PD Dr. Richter	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verfahren der Positronen-Emissions-Tomographie soll erstmals für räumlich aufgelöste Messungen von Transportprozessen in unterschiedlichen Wirtsgesteinen (Tone, Tongestein, Salzgestein) genutzt werden. Die bisher eingesetzten tomographischen Verfahren liefern im allgemeinen nur Informationen zur Porenstruktur der Feststoffmatrix, während PET eine direkte Beobachtung der Advektions- und Diffusionsprozesse im Inneren der Probe ermöglicht. Für die Untersuchungen steht ein neuentwickelter PET-Scanner (GEO-PET) zur Verfügung. Durch Markierung mit verschiedenen Isotopen (Co-58, Cu-64, Br-76, F-18) werden mit wässrigen Lösungen variabler Zusammensetzung der lokale Fluidtransport und die Migration von Schwermetallen im Spurenkonzentrationsbereich in den Zonen erhöhter Permeabilität ( $>1E-20 \text{ m}^2$ ) in einem speziellen, für Radiotracerexperimente ausgelegten Versuchsstand (max. Fluiddruck bis 100 bar) untersucht.

Ziel ist es, genauere Kenntnisse zum Einfluss der Struktur auf den Transport in Wirtsgesteinen und damit genauere Daten zur Modellierung des Langzeitverhaltens zu gewinnen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Auswahl der optimalen Tracerisotope (Positronenstrahler) und der Tracerverbindungen
- AP2: Konfiguration des PET-Scanners und Optimierung des Messprogramms bezüglich der Probenspezifik
- AP3: Entwicklung des Bildrekonstruktionsverfahrens unter Berücksichtigung der Probenspezifik
- AP4: Entwicklung und Bau der Hochdruckversuchsapparatur
- AP5: Räumlich-zeitliche Untersuchungen zum Einfluss der Strukturinhomogenitäten auf den Transport in Tonen und Tongestein bei unterschiedlicher Lösungskonzentration

- AP6: Untersuchungen zur Veränderung der Gefügestrukturen und Transportwege in Tonen und Tongestein während des Lösungstransports
- AP7: Räumlich-zeitliche Untersuchungen zum Einfluss der Strukturinhomogenitäten auf den Transport in Salzgestein bei unterschiedlicher Lösungskonzentration
- AP8: Interpretation der Untersuchungsergebnisse in Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern unter dem Aspekt der Weiterentwicklung der Rechencodes für die Sicherheitsanalyse

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Adaption und Weiterentwicklung quantitativer Bildauswerteverfahren für tomographische Stacks
- Entwicklung von Verfahren zur Bestimmung lokaler Parameter von Transportmodellen auf der Basis von PET-Messungen
- PET- Messungen zur Migration von wässrigen Lösungen in Tonen (Bentonit, Kaolinit)
- bei unterschiedlichen Salzkonzentrationen und pH-Werten.
- Experimentelle Untersuchungen in der Hochdruckanlage zur Migration im Salzgestein.

### **4. Ergebnisse**

- Abschluss der Entwicklungsarbeiten zur quantitativen Bildauswertung und Bestimmung lokaler Parameter von geochemischen Transportmodellen
- Deutliche Unterschiede im Transportverhalten von Tonen in Abhängigkeit von Tonstruktur und Lösungszusammensetzung nachgewiesen
- Bestimmung von Dispersions- bzw. Advektionsparametern in Bentonit und Kaolinit

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Abschluss der Migrationsexperimente in Tonen und Tongestein
- Abschluss der Migrationsuntersuchungen im Salzgestein
- Interpretation der Versuchsergebnisse unter dem Aspekt der Weiterentwicklung geochemischer Transportmodelle zur Langzeitprognose von Endlagern und Ableitung des zukünftigen Forschungsbedarfs.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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 29.02.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 197.193,26 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 etwa 70 m lange Versuchsstrecke angelegt worden, in die zwei elektrische Erhitzer mit einer Wärmeleistung von 4300 Watt installiert worden sind. Der Ringraum um die Erhitzer sowie die verbleibenden Hohlräume im Versuchsfeld sind mit hochkompaktierten Bentonitformsteinen versetzt worden. Das Versuchsfeld wurde gegenüber dem übrigen Grubengebäude mit einem Abschlussbauwerk aus Beton verschlossen.

Versuchsziel ist neben der Demonstration dieser Endlagermethode die Ermittlung der thermo-hydro-mechanischen und der chemisch-mineralogischen Prozesse im Versatzmaterial sowie im Nahbereich des Versuchsfeldes. Da diese Prozesse, insbesondere die Aufsättigung der Bentonitformsteine mit Formationswasser aus dem umliegenden Granitgestein, noch nicht abgeschlossen sind, soll der Versuch als FEBEX II fortgeführt werden.

GRS untersucht hierbei die Gasentwicklung und -ausbreitung in den Bentonitformsteinen unter den Endlagerbedingungen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

AP 1: Fortführung der Messungen zur Gasfreisetzung am Erhitzer 1

AP 2: Begutachtung der Filterrohre am Erhitzer 1 und Installation weiterer Filterrohre am Erhitzer 2.

AP 3: Gasprobenahme aus den Filterrohren am Erhitzer 2 und Analyse

AP 4: Permeabilitätsmessungen

AP 5: Laboruntersuchungen zur Gasentwicklung aus dem Bentonit



### 3. Durchgeführte Arbeiten

Der Ausbau des Erhitzer 1 und der umliegenden Messkomponenten wurde abgeschlossen. Im Bereich zwischen Erhitzer 1 und 2 wurde eine provisorische Betonabdichtung eingebaut, um die Austrocknung der Bentonitverfüllung am Erhitzer 2 zu verhindern. Ursprünglich war vorgeplant, die Installationen für die weiteren Messungen am Erhitzer 2 im Zeitraum September bis Dezember 2002 durchzuführen. Von ENRESA wurde aufgrund der bisherigen Ergebnisse das weitere Untersuchungsprogramm und das Messkonzept geändert. Es soll nicht mehr, wie bisher geplant der Versatz künstlich geflutet werden, sondern er soll sich mit dem Formationswasser aus dem umliegenden Gebirge aufsättigen. Da diese Abänderung für ENRESA und deren Unterauftragnehmer AITEMIN ein neues Installations- und Messkonzept bedingen, wurden die weiteren Arbeiten am Erhitzer 2 auf Anfang 2003 verschoben. Für GRS ergaben sich keine Abweichungen im Installations- und Messkonzept, lediglich eine zeitliche Verzögerung um etwa 6 Monate. Die notwendigen Komponenten liegen im Felslabor Grimsel bereit und sind getestet worden.

Im Labor sind die ausgebauten Filterrohre begutachtet und deren Durchlässigkeit gemessen worden. Die Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Bentonitversatz bei 100 °C in Abhängigkeit von der Zeit bis zu 300 Tagen sind abgeschlossen und ausgewertet worden. Die Proben für die Zeiträume 1000 und 2000 Tage sind im Ofen eingelagert und sollen im März 2004 analysiert werden.

### 4. Ergebnisse

Die Filterrohre in Erhitzernähe konnten problemlos ausgebaut werden, sie waren noch intakt und zeigten nach 5-jährigem Einbau im Bentonitversatz und einer Temperatur von 80 bis 100 °C optisch keinerlei Veränderung. Auch die Durchlässigkeitsmessungen im Labor zeigten im Vergleich zu nicht eingebauten Filterrohren keine Veränderung. Die Filterrohre, die auf dem Stoß installiert waren, waren infolge der einseitigen Belastung durch die Quellung der Bentonitverfüllung zerbrochen, jedoch war in den Zwischenräumen des Bruches sowie in der Keramik selbst hinreichend Porosität, so dass in diesem Bereich problemlos Permeabilitätsmessungen durchgeführt und Wasserproben abgezogen werden konnten. Aus diesen Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass Keramikrohre gut als Drainagesysteme eingesetzt werden können, wenn eine homogene und isotrope Belastung sichergestellt ist.

Die Laboruntersuchungen zur Gasentwicklung im Bentonit bei 100 °C haben ergeben, dass in signifikanter Menge nur Kohlendioxid nach 300 Tagen bis zu 1,9 m<sup>3</sup>/1000 kg freigesetzt wird. Die freigesetzte Menge ist von der Zeit und der Feuchtigkeit des Bentonits abhängig.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Im ersten Quartal 2003 sollen am Erhitzer 2 die Edelstahl-Sinterrohre, die Ventilstation und Kapillaren installiert werden. Sobald diese Installation abgeschlossen und der Verschlussstopfen aus Spritzbeton eingebracht worden ist, werden die Messungen zur Gasfreisetzung und der Permeabilität des Versatzes wieder aufgenommen.

Die Laborversuche zur Gasentwicklung aus dem Versatzmaterial werden programmgemäß fortgeführt.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Jockwer, N., Wiczorek, K.: Gas Generation Measurements in the FEBEX Project, International Meeting on "Clay in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement", Reims, December 9.-12. 2002

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9400</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung im Boom Clay in Mol im Projekt: "Integrated in Situ Corrosion Test on Alpha-Active High Level Waste Glass - Phase 2" CORALUS 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> 01.07.2000 bis 31.03.2004		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 274.956,85 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Jockwer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Untertagelabor HADES in Mol führt SCK-CEN (Belgien) in Zusammenarbeit mit CEN (Frankreich) und GRS den Versuch CORALUS durch, um die Korrosion hochaktiver Gläser und die Ausbreitung freigesetzter Radionuklide im Ton (Boom Clay) zu ermitteln. SCK-CEN hat in diesem internationalen Vorhaben die Projektleitung und übernimmt die mineralogisch-chemische Untersuchung des Tonsteins sowie der Versatzmaterialien und die chemische Untersuchung der Formationswässer. GRS ermittelt im Labor und in situ die für die Interpretation der Glaskorrosion und der Ausbreitung der Radionuklide wichtigen Daten der Gaserzeugung, -freisetzung und -ausbreitung im Tongestein sowie den Versatzmaterialien. Der gesamte Versuch besteht aus vier unterschiedlichen Untersuchungsbohrungen mit Laufzeiten von 3 Monaten bis 3 Jahren mit und ohne Co-60 Strahlenquellen, in denen das umgebende Gebirge auf 30 bzw. 90°C aufgeheizt wird, um den Einfluss von Temperatur und Gammastrahlung auf die Glaskorrosion und Gasentwicklung zu ermitteln. Für die deutsche Seite werden mit diesen Untersuchungen Daten von Tonformationen und Tonmineralgemischen bereitgestellt, die als Verschlussmaterialien für Endlager eingesetzt werden können.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1: In-situ-Untersuchungen zur Gasentwicklung aus den Versatzmaterialien

AP 2: Laboruntersuchungen zur Gasentwicklung aus den Versatzmaterialien

AP 3: In-situ-Untersuchungen zur Permeabilität der Versatzmaterialien

### 3. Durchgeführte Arbeiten

CORALUS test tube 2 (30 °C, ohne <sup>60</sup>Co-Quelle) ist geflutet, die Erhitzer sind eingeschaltet worden und sollen voraussichtlich bis Ende 2003 betrieben werden. Aus den Piezometern sind Wasserproben zur Bestimmung der darin gelösten Gase entnommen und von GRS analysiert worden. CORALUS test tube 3 (90 °C, mit <sup>60</sup>Co-Quelle) wird weiterhin geflutet. Der Versatz um die Erhitzer hat eine Wassersättigung von etwa 90 % erreicht. Die <sup>60</sup>Co-Quellen sind im September 2002 eingebaut worden. In Abstimmung mit allen Projektbeteiligten sollen die Erhitzer Ende 2002 bzw. Anfang 2003 eingeschaltet werden.

CORALUS test tube 4 (90 °C, mit <sup>60</sup>Co-Quelle) ist im Oktober 2001 installiert worden. Der Ringraum zwischen Gebirge und Versatz hat sich infolge Konvergenz geschlossen. Die Flutung des Versatzes ist in August 2002 begonnen worden. Sobald die Flutung abgeschlossen ist, sollen die <sup>60</sup>Co-Quellen eingebaut und die Erhitzer eingeschaltet werden.

Im Labor wurde die Analyse der Gasentwicklung aus den verschiedenen Versatzmaterialien für die Expositionszeiten von 300 Tagen abgeschlossen und ausgewertet. Für die Expositionszeiten von 1 000 Tagen sind die Proben noch im Wärmeschrank mit einer Temperatur von 90 °C eingelagert, die Analyse dieser Proben ist für November 2003 vorgesehen.

### 4. Ergebnisse

In den Formationswässern, die aus dem Versatz des Test Tubes 2 entnommen worden sind, ergab sich, dass darin hauptsächlich Kohlendioxid gelöst ist. Der Gehalt steigt langsam an und korreliert mit der Abnahme des pH-Wertes. Die Analyse zur thermischen Gasfreisetzung bis zu einer Expositionszeit von 300 Tagen sind ausgewertet worden.

Aus dem Boom Clay wurden nach 300 Tagen 0,65 m<sup>3</sup> Kohlendioxid pro 1000 kg und 0,0001 m<sup>3</sup> Kohlenwasserstoffe pro 1000 kg freigesetzt. Offensichtlich werden die Kohlenwasserstoffe beim Aufheizen zu Kohlendioxid oxidiert. Die freigesetzte Wasserstoffmenge hatte mit 0,1 m<sup>3</sup> pro 1000 kg nach 3 Tagen Expositionszeit ihr Maximum und fiel dann nach 300 Tagen auf 0,04 m<sup>3</sup> ab. Der Wasserstoff wird möglicherweise langfristig oxidiert.

Aus dem FoCa Clay mit Graphit und Sand wurden nach 300 Tagen 0,2 m<sup>3</sup> Kohlendioxid pro 1000 kg und 0,001 m<sup>3</sup> Kohlenwasserstoffe pro 1000 kg freigesetzt. Wasserstoff konnte nicht in nennenswertem Umfang nachgewiesen werden.

Aus dem FoCa Clay mit Glaspulver wurden nach 300 Tagen 0,05 m<sup>3</sup> Kohlendioxid pro 1000 kg und keine nennenswerten Mengen an Kohlenwasserstoffen und Wasserstoff freigesetzt. Diese Ergebnisse sind im Einklang mit dem geringen Gehalt des FoCa Clays an organischen Material.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der In-situ-Untersuchungen zur Gasentwicklung.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Jockwer, N., Wiczorek, K.: In-situ and Laboratory Experiments Related to Gas Generation, Release and Migration within the CORALUS Project, "Cluster Meeting", November 5-6, 2002, Mol (Belgium).

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38670 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9410</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Transport und Rückhaltung von Schadstoffen in alterierten Kluftbereichen des HRL 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> 01.10.2000 bis 31.01.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 202.025,74 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Mengel	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die übergeordneten Ziele liegen in der Beschreibung der Volumen- und Oberflächenanteile alterierter Kluftbereiche und der Rückhalteeigenschaften von Schadstoffen in diesen Zonen. Das Hauptziel lässt sich in folgende Teilziele gliedern:

- Charakterisierung der räumlichen Ausbreitung von zusammenhängenden Mikrogefügen.
- Charakterisierung des mineralogischen und chemischen Stoffbestands von Kluftoberflächen.
- Bestimmung reaktiver Oberflächen alterierter Minerale.
- Laborexperimente zur Bestimmung irreversibler Schadstoffrückhaltung alterierter Granite.
- Modellierung von Mineralneubildungen.

Das Vorhaben ist eingebunden in die durch den Vertrag zwischen BMWA und SKB geregelte Zusammenarbeit im schwedischen Hartgesteinslabor „Äspö“.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1: Räumliche Verbreitung und Volumina von Kluftbereichen

AP 2: Mineralogie der Gesteinsoberflächen in Kluftbereichen

AP 3: Schadstoffrückhaltung in Kluftbereichen

AP 4: Modellierung der Rückhaltung im Referenzvolumen

AP 5: Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Weitere Sorptionsversuche und Reversibilitätstests wurden unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

- 1.) Natürlicher Klinochlor (Achmatowsk, Ural) und Chlorit (Traversella, Piemont) wurden mit einer Lösung, die je 800 ppb Co, Sr, Ba, Cs, La, Nd sowie Yb enthielt, äquilibriert. Die Lösung entspricht mit einer NaCl-CaCl<sub>2</sub>-Matrix bei pH-Wert 7 in etwa typischen Untertagelösungen im HRL Äspö.
- 2.) Aus vorangegangenen Arbeiten stand Untersuchungsmaterial zur Verfügung, das mit gespickten Lösungen (je 800 ppb Co, Sr, Ba, Cs, La, Nd, Yb; NaCl-CaCl<sub>2</sub>-Matrix, verschiedene pH-Werte) ins Gleichgewicht gebracht worden war. Dieses Material wurde als Ausgangssubstanz für Reversibilitätsversuche bei pH-Werten von 6 bis 7 eingesetzt. Die Lösungen wurden wiederum an Untertagelösungen mit einer Matrix aus NaCl und CaCl<sub>2</sub> angepasst.

Das Datenmaterial wurde für den Abschlussbericht aufbereitet.

### 4. Ergebnisse

- 1.) Der Chlorit ist mit Quarz verwachsen, während der Klinochlor noch etwas Magnetit und dessen Umwandlungsprodukte enthält. Dieses Fremdmaterial konnte weitestgehend separiert werden, doch gerade der Magnetit kann auch in kleinen Anteilen zu einer Störung der Ergebnisse führen.  
Die Seltenerdelemente und Co wurden sowohl in den Experimenten mit Klinochlor als auch mit Chlorit vollständig fixiert. Cs wurde zu 75% an Klinochlor sorbiert, jedoch nur zu 25% an Chlorit. Sr und Ba wurde bei beiden Versuchsanordnungen mobilisiert, Rb nur im Chlorit-Versuch. Dies entspricht dem Vorkommen der drei Elemente in den Ausgangsmaterialien. Diese Beobachtungen verdeutlichen, dass die Gehalte der Neben- und Spurenelemente der Ausgangsstoffe die Ergebnisse der Sorptions- und Reversibilitätsversuche beeinflussen können.
- 2.) Die in vorangegangenen Versuchen an AlOOH fixierten Elemente Co, La, Nd und Yb wurden nur zu geringen Anteilen mobilisiert. Nur Ba, das zu geringen Anteilen an Bauxit (natürliches AlOOH) gebunden war, wurde wieder vollständig mobilisiert. Auch an SiO<sub>2</sub>\*H<sub>2</sub>O konnte eine Fixierung der Elemente Co, La, Nd und Yb festgestellt werden, die jedoch deutlich geringer als im Fall des AlOOH ausfiel. Konsequenterweise ist die Remobilisation dieser Elemente bei den Experimenten mit SiO<sub>2</sub>\*H<sub>2</sub>O stärker.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Die Ergebnisse werden abschließend interpretiert und im Abschlussbericht präsentiert.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Quartalsberichte an SKB

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9420</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Callovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP			
<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> 01.09.2000 bis 30.09.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 90.307,97 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Rothfuchs	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zur Vorbereitung der Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle in einer Tonsteinformation hat die französische ANDRA im Sommer 2000 mit der Errichtung eines Untertage-labors am Standort Meuse/Haute Marne begonnen. Im begleitenden Projekt MODEX-REP werden gekoppelte hydraulisch-mechanische Modelle zur Beschreibung des rheologischen Gesteinsverhaltens im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen entwickelt.

Zur Absicherung der konstitutiven Modelle sollen von der GRS Laboruntersuchungen an Kernproben aus der Schachtvorbohrung durchgeführt werden. In Kriech-, Relaxations- und Kompaktionsversuchen werden die relevanten Gesteinsparameter zur Beschreibung des Materialverhaltens ermittelt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Vorbereitende Datenanalyse und Festlegung der Einzelversuche;
- Einaxiale Relaxationsversuche;
- Einaxiale Kriechversuche;
- Dreiaxiale Kompressionsversuche;
- Bestimmung der Gaspermeabilität in Abhängigkeit vom Manteldruck;
- Erstellung des Abschlussberichtes.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Erstellung des Abschlussberichtes (sowie Weiterführung der Kriechversuche)

#### 4. Ergebnisse

Physikalische Eigenschaften: Die Bohrkern aus der Schachtvorbohrung EST205 in der Tiefe zwischen 434 m und 506 m am Standort MHM-URL sind visuell homogen und zeigen keine signifikante Schichtung bzw. Gefügeschäden. An den Kernen wurden eine Korndichte von  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , eine Trockendichte von  $2,25 \text{ g/cm}^3$ , eine Porosität von 16,8 % und ein Wassergehalt von 7,3 % gemessen.

Permeabilität: Die Gaspermeabilität der trockenen Tonproben parallel zur Schichtung wurde zwischen  $k \approx 1 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$  und  $k \approx 5 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$  bei einem Manteldruck von 2 bis 16 MPa gemessen, während eine Gaspermeabilität von  $k \approx 3 \cdot 10^{-19} - 4 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$  senkrecht zur Schichtung gemessen wurde. Die Gaspermeabilität nimmt mit zunehmendem Wassergehalt sehr deutlich ab. Die Gaspermeabilität der Tonproben mit Wassergehalten von ca. 4 – 5 % lag im Bereich von  $10^{-21} - 10^{-22} \text{ m}^2$ . Sie ist etwa 3 Größenordnungen niedriger als die der Trockenproben.

Kompressionsverhalten: Die luftgetrockneten Tonproben haben eine höhere Axialbruchfestigkeit von  $\sigma_B \approx 41 \text{ MPa}$  und eine größere Bruchverformung von  $\varepsilon_B \approx 2\%$  als die der wassergesättigten Tonproben mit  $\sigma_B \approx 24 \text{ MPa}$  und  $\varepsilon_B \approx 1\%$ . Die elastische Verformung senkrecht zur Schichtung ist höher als diejenige parallel zur Schichtung. Der E-Modul nimmt mit steigender Beanspruchung und abnehmender Probengröße zu. Die mittleren Festigkeitsparameter für die Spitzenfestigkeit sind: Kohäsion  $C = 9 \text{ MPa}$  und Reibungswinkel  $\phi = 19^\circ$  und für Restfestigkeit: Kohäsion  $C = 4,2 \text{ MPa}$  und Reibungswinkel  $\phi = 19^\circ$ .

Kriechverhalten: Die Tonproben zeigten Kriechverformungen schon bei kleinen Spannungen von 2 – 3 MPa. Kriechverformung und Kriechrate steigen mit Erhöhung der Beanspruchung. Das Kriechverhalten der untersuchten Tonsteinformation ist relativ homogen. Signifikante Effekte der Probengröße und der Belastungsrichtung auf das Kriechverhalten des Tonsteins wurde nicht festgestellt. Die Entsättigung der Tonproben ergab eine große kurzzeitige Kompaktion und verlangsamte das Kriechen. Nach einigen Monaten erreichte das Kriechen einen stationären Zustand. Die stationäre Kriechrate nimmt linear mit steigender Beanspruchung zu.

Relaxationsverhalten: Unter der Bedingung einer Null-Axialverformung nimmt die Axialspannung mit der Zeit ab. Die Spannungsabnahme bei den feuchten Proben erfolgt schneller als bei den trockenen Proben.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

Teilnahme an weiteren MODEX-REP Meetings.

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Zhang, C., Rothfuchs, T., 2002: "Experimental Study of the Hydro-mechanical Behaviour of the Callovo-Oxfordian Argillite", Proc. Int. Conf. on Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement, Reims, December 2002 (in print)

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9430</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin, Mitarbeit in der Task Force "EBS" des HRL 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> 01.10.2000 bis 30.09.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 541.424,40 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kröhn	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ein möglichst einfaches Modell zur Berechnung der Aufsättigung soll bereitgestellt und die Dichtwirkung von Bentonitbuffern in HAW-Endlagern im Kristallin bewertet werden. Das Modell wird die relevanten physikalischen Prozesse der thermisch-mechanisch beeinflussten Zweiphasenströmung enthalten. Im Rahmen der Prototype Repository Modelling Group werden Modellrechnungen zum Canister Retrieval Test mit vereinfachten Modellen durchgeführt, um durch eine Sensitivitätsanalyse und durch den Vergleich mit den Ergebnissen eines vollständig gekoppelten THM-Modells die Bedeutung der berücksichtigten Effekte herauszustellen. Dazu sind die noch fehlenden Stoffkenngrößen im Labor zu bestimmen. Die Modellansätze und das dazu erforderliche Messprogramm werden mit den Teilnehmern der Modelling Group diskutiert und ggf. modifiziert. Eine Überprüfung der Erkenntnisse erfolgt anhand der gegen Projektende verfügbaren Messdaten für den In-situ-Test.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### Modellrechnungen

- AS 1.1: Vereinfachtes Modell
- AS 1.2: Modellrechnungen
- AS 1.3: Task Force-Arbeiten
- AS 1.4: Dokumentation

### Laboruntersuchungen

- AS 2.1: Bestimmung von Stoffkenngrößen
- AS 2.2: Überprüfung der Modellansätze
- AS 2.3: Dokumentation



### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Die Versuchsreihe zur drucklosen Aufsättigung mit flüssigem Wasser wurde abgeschlossen. Mit der Auswertung der Daten wurde begonnen.
- Vorversuche für ein systematisches Experiment zur Bestimmung der Hydratationsrate bei der Aufsättigung durch Wasserdampf wurden durchgeführt.
- Die bereits verfügbaren Daten zur Abschätzung der Hydratationsrate bei der Aufsättigung durch Wasserdampf wurden zusammengestellt und ausgewertet.
- Teilnahme am „Workshop on Clay Microstructure“: Präsentation und Diskussion der Arbeitsergebnisse und Abstimmung des weiteren Laborprogramms.

### 4. Ergebnisse

- Die Plausibilität der neuen Ansätze zur Beschreibung der Aufsättigung wurde auf dem Workshop durch die Fachwelt bestätigt. Die Priorität der druckbehafteten Aufsättigungsversuche mit Äspö-Lösung wurde als nachrangig gegenüber Versuchen zur Aufsättigung durch Wasserdampf eingeschätzt.
- Die abgeschätzte Hydratationsrate bei der Aufsättigung durch Wasserdampf ist relativ groß. Eine große Hydratationsrate bestätigt die Relevanz dieses Prozesses.
- Bei der Aufsättigung mit flüssigem Wasser wurden lufttrockene Proben bis zu einem halben Jahr einseitig mit Äspö-Lösung beaufschlagt. Bei den länger laufenden Tests konnte im gesamten Probenkörper eine gewisse Aufsättigung beobachtet werden.
- Die Sättigungsverteilungen deuten darauf hin, dass die alleinige Beschreibung der Aufsättigung durch das Advektionsmodell nicht ausreichend ist.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Eine Versuchsreihe zur Aufsättigung mit Wasserdampf ist im kommenden Halbjahr analog zu den Tests mit flüssigem Wasser vorgesehen.
- Ergänzend werden einfache Tests zur Bestimmung der Hydratationsrate bei der Aufsättigung durch Wasserdampf durchgeführt.
- Die neuen Modelle werden sowohl anhand der eigenen Laborversuche als auch der bei SKB veröffentlichten THM-Versuche von Clay Technology getestet.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Kröhn, K.-P.: „New conceptual models for the resaturation of bentonite“. In: Pusch, R., (ed.), Preprints of contributions to the „Workshop on clay microstructure and its importance to soil behaviour“, 15.-17. 10. 2002, Lund, Sweden. (Die Veröffentlichung dieses Beitrags in Applied Clay Science ist in Vorbereitung.)

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9440</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers		
<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 30.06.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 571.747,03 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Herbert	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mittelschwere anionisch vorliegende Radionuklide wie  $^{14}\text{C}$  (als  $\text{CO}_3^{2-}$ ),  $^{129}\text{I}$  (als  $\text{I}^-$ ),  $^{79}\text{Se}$  (als  $\text{SeO}_3^{2-}$  oder  $\text{SeO}_4^{2-}$ ) und  $^{99}\text{Tc}$  (als  $\text{TcO}_3^-$  und  $\text{TcO}_4^-$ ) werden von den derzeit diskutierten Versatzmaterialien und Deckgebirgsgesteinen nur sehr wenig zurückgehalten. Adsorption oder Fällung von Anionen finden dort nach derzeitigem Kenntnisstand nur wenig statt. In den heutigen Langzeitsicherheitsanalysen tragen diese Elemente wegen ihres ungehinderten Transportes wesentlich zur mittelfristigen Strahlenbelastung bei. In diesem Vorhaben sollen geeignete Zuschlagstoffe entwickelt werden, die unter endlagerrelevanten Bedingungen zu einer Verminderung der Iod- oder Selenkonzentration führen. Dazu werden elektrochemische, chemisorptive Kationenaustausch- und Mitfällungsprozesse an ausgewählten Materialien studiert. Für die Modellierung der dabei stattfindenden Prozesse wird die dazu notwendige thermodynamische Datenbasis ergänzt und erweitert.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Experimente für eine verbesserte Rückhaltung von Se und I
- Adsorption/Chemisorption an ausgewählten Materialien
  - Bildung fester Lösungen mit anderen Salzen
  - Elektrochemische Fällung
- AP 2: Ermittlung thermodynamischer Daten für Iod und Selen
- Iodid
  - Selenit/Hydrogenselenit
  - Selenat
- AP 3: Theoretische Arbeiten
- Berechnung von Wechselwirkungs-(Pitzer-)Koeffizienten
  - Geochemische Modellierung

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Darstellung von  $\text{MgSeO}_4$ . Durchführung isopiesticischer Messungen in folgenden binären Systemen:  $\text{Na,K,Mg} - \text{SeO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ . Durchführung von Löslichkeitsversuchen in den Systemen  $\text{K-Cl,SeO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{K-SeO}_4,\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{K-Na-SeO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Mg-Cl,SeO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Mg-SeO}_4,\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na,Mg-SeO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na-Cl,SeO}_4\text{-H}_2\text{O}$  und  $\text{Na-SeO}_4,\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ . Verfahrensentwicklung für die Spurenanalytik von Selen. Abgleich von Sorptionsmessungen mit Ergebnissen von Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie (ZSR).

### **4. Ergebnisse**

Ein Vergleich mit Ergebnissen des ZSR ergab gute Übereinstimmungen. Die isopiesticischen- und Löslichkeitsexperimente stehen kurz vor der Auswertung.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Darstellung von  $\text{MgI}_2$ . Durchführung von isopiesticischen Messungen im System  $\text{Mg-I-H}_2\text{O}$ . Darstellung von Hydrogenseleniten sowie Durchführung von isopiesticischen- und Löslichkeitsversuchen.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstr. 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9450</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden		
<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> 01.11.2000 bis 31.10.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 538.255,88 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Rösch	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

- Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden.
- Anwendung und projektspezifischer Ausbau der relativistischen Dichtefunktionalmethode im Programmpaket PARAGAUSS.
- Untersuchung von Aktinoidenkomplexen in der Gasphase und in Lösung sowie deren Oligomerisierung und Adsorption auf verschiedenen Substraten.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst folgende Arbeitspakete:

1. Komplexe, Solvation
2. Sorption
3. Adaption des Softwarepaketes PARAGAUSS

In den Arbeitspaketen (AP) 1 und 2 erfolgen computerchemische Untersuchungen zur aquatischen sowie zur Sorptions-Chemie der Aktinoidenkomplexe.

In AP 3 werden projektspezifische Ergänzungen am Programmpaket PARAGAUSS durchgeführt.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- AP 1.1: Reduktion von U(VI), Hydrolyseprodukte von Th, U, Np, Pu, Uranylcarbonate.  
 AP 1.2: Chlorierter Uranyl-Dimer, Uranylcarbonat-Dimere.  
 AP 1.4: Uranylcarbonat-Trimer.  
 AP 2.1: Adsorption von  $\text{UO}_2^{2+}$ ,  $\text{UO}_2(\text{OH})_2$  auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .  
 AP 3.4, 3.5: Arbeiten zu EPE-kov, Parametrisierung  $\text{SiO}_2$ .

### 4. Ergebnisse

In AP 1 wurden Berechnungen einer Modellreaktion der Reduktion von Uranyl VI zu  $\text{U}(\text{IV})(\text{OH})_2^{2+}$  in der Gasphase und mit verschiedenen Solvatationsmodellen abgeschlossen. Als Randergebnis wird eine im Vergleich verbesserte Hydratationsenthalpie von Uranyl von  $426 \pm 20$  kcal/mol vorgeschlagen. Untersuchungen von Hydrolyseprodukten verschiedener Aktinoide wurden weitergeführt (AP 1). Die Eigenschaften von Ac(IV) für  $\text{Ac}(\text{OH})^{3+}$  und  $\text{Ac}(\text{OH})_2^{2+}$  mit Ac = Th, U, Np, Pu wurden verglichen.

Lineare Orientierungen der OH-Gruppen kommen vor allem bei niedriger Koordination und in der Gasphase vor. Berechnungen zu Uranylcarbonatkomplexen  $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_n(\text{H}_2\text{O})_m$  (in Gasphase und in Lösung) wurden aufgenommen (AP 1). Für  $\text{UO}_2\text{CO}_3$  wurde festgestellt, dass nur die bidentate Carbonatbindung stabil ist, der monodentate Komplex zerfällt zu  $\text{UO}_3$  und  $\text{CO}_2$ . Für die Uranyl-Streckschwingung wurde eine charakteristische Abnahme mit wachsender Zahl von Carbonatliganden gefunden. Verschiedene Isomere des Dimerkomplexes  $(\text{UO}_2)_2\text{CO}_3(\text{OH})_3^-$  wurden in der Gasphase verglichen, um experimentelle Strukturvorschläge und relative Häufigkeiten zu überprüfen. Das deutlich stabilste Isomer mit zweifach bidentater Koordination des Carbonats an die Uranyle wird im Experiment nicht favorisiert. Berechnungen in Lösung werden derzeit durchgeführt. Eine Modellierung der trimeren Spezies  $(\text{UO}_2)_3\text{CO}_6^{6-}$ , deren Existenz kontrovers diskutiert wird, erfolgt auf Anregung von Herrn Neck, INE. Berechnungen zu  $(\text{UO}_2)_2(\text{OH})_2\text{Cl}_2(\text{H}_2\text{O})_4$  (AP 1.2) wurden fertiggestellt und eine Veröffentlichung eingereicht. Ergänzend zur Charakterisierung in der Gasphase und im Molekülkristall konnte durch indirekten Vergleich mit dem Experiment auch die Orientierung der Wasserliganden bestimmt werden. Zur Adsorption von U(VI) auf  $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$  werden Berechnungen mit dem ionischen EPE-Modell weitergeführt (AP 2.1), und zwar mit der Untersuchung von drei verschiedenen Adsorptionsplätzen für Uranyl. Ein Vergleich der Adsorption von  $\text{UO}_2^{2+}$  und  $\text{UO}_2(\text{OH})_2$  erfolgt anhand eines kleinen Oberflächenclustermodells. Von besonderem Interesse ist eine weitere Untersuchung der ungewöhnlichen gewinkelten Adsorption von Uranyl, deren Plausibilität von einer weichen Uranyl-Biegeschwingung gestützt wird. Ferner wurde Entwicklung der EPE-Methodenvariante für kovalent-ionische Verbindungen mit dem Ziel der Modellierung von  $\text{SiO}_2$  abgeschlossen und anhand der porösen  $\text{SiO}_2$ -Modifikation Silikalit validiert (AP 3.4, 3.5). Da sich die Anwendungsrechnungen mit dem neu entwickelten EPE-Verfahren aufwendiger als vorhergesehen erweisen, wird derzeit eine approximative DF-Variante hinsichtlich ihres Potentials zur Beschleunigung dieser Rechnungen evaluiert.

## 5. Geplante Weiterarbeiten

AP 1.1 geringfügig, insbesondere hinsichtlich Carbonatkomplexen. Arbeiten zu Dimer- und Trimerkomplexen des Urans mit Carbonatliganden werden fortgeführt (AP 1.2, 1.4). Die Untersuchung der Adsorption von Aktinoiden auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$  wird fortgeführt (AP 2.1) und auf Hydrolyseprodukte ausgedehnt. AP 3.5 wird fortgeführt (Parametrisierung  $\text{SiO}_2$ ).

## 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

## 7. Berichte, Veröffentlichungen

F. Schlosser, S. Krüger, N. Rösch: Relativistic density functional study of the dinuclear uranyl complex  $(\text{UO}_2)_2(\mu_2\text{-OH})_2\text{Cl}_2(\text{H}_2\text{O})_4$  in its crystalline environment, *Eur. J. Inorg. Chem.*, eingereicht.

V. A. Nasluzov, E. A. Ivanova, A. M. Shor, G. N. Vayssilov, U. Birkenheuer, N. Rösch: Elastic Polarizable Environment Cluster Embedding Approach for Covalent Oxides and Zeolites Based on a Density Functional Method, *J. Phys. Chem. A* (2003) in Druck.

M. Matveev, N. Rösch: The Electron-Electron Interaction in the Douglas-Kroll-Hess Approach to the Dirac-Kohn-Sham Problem, *J. Chem. Phys.* (2003) in Druck.

V. V. Rivanenkov, V. A. Nasluzov, A. M. Shor, K. M. Neyman, N. Rösch: Adsorption of Pd and Pt Atoms on  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$ : Density Functional Study of Cluster Models Embedded in an Elastic Polarizable Environment, *Surf. Sci.* (2003) in Druck.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9461</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung der chemischen und hydromechanischen Wechselwirkungen von Ton/Zement-Systemen; ECOCLAY - Phase 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> 01.01.2001 bis 30.09.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 509.859,24 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Meyer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für die Beurteilung der Langzeitstabilität und -dichtwirkung sollen Untersuchungen zu den chemischen Umsetzungen eines Bentonits und eines zementgebundenen Materials im Kontakt mit salinaren Tiefenwässern sowie der Veränderung ihrer hydraulischen Eigenschaften (Permeabilität, Quelldruck) durchgeführt werden. Durch Vergleich der chemischen Umsetzungsprozesse mit den veränderten hydraulischen Eigenschaften der umgewandelten Materialien werden Aussagen über deren Langzeitverhalten erhalten. Die experimentell bestimmten chemischen Umwandlungen der untersuchten Abdichtmaterialien und der resultierenden Lösungen werden mit Hilfe des geochemischen Rechencodes EQ3/6 modelliert. Das Vorhaben ist eingebunden in das EU-Projekt „ECOCLAY II“.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### (AP1) Vorlaufende Arbeiten, Literaturstudie

Systematische Literaturrecherche zum Thema Ton-Zement-Wechselwirkungen

### (AP2) Untersuchung der chemischen, hydraulischen und mechanischen Wechselwirkung des Systems-Ton-Zement-Lösung

An zwei unterschiedlichen Feststoffzusammensetzungen werden Kaskadenversuche durchgeführt. Als Ausgangslösung soll sowohl eine IP21-Lösung als auch eine gesättigte NaCl-Lösung eingesetzt werden.

### (AP 3) Bestimmung der hydraulischen Eigenschaften des Systems Ton-Zement-Lösung

Um die hydraulischen Eigenschaften eines zementgebundenen Materials beim Eindringen korrosiver Lösung zu untersuchen, werden Durchströmungsversuche durchgeführt. Mit Hilfe des aus AP2 erhaltenen chemischen Reaktionspfades werden Quelldruckversuche mit synthetisch hergestellten Lösungen durchgeführt, die die hydraulischen Eigenschaften des Bentonits (MX-80) nach erfolgter Reaktion mit den Reaktionslösungen aus der Zementkorrosion aufzeigen.

### (AP 4) Bestimmung der mechanischen Eigenschaften des Systems Ton-Zement-Lösung

Zusätzlich zu den hydraulischen Messungen werden mechanische Untersuchungen an den korrodierten Zementprobekörpern durchgeführt. Für jede Reaktionszeit werden die Probekörper auf einaxiale Druckfestigkeit geprüft.

### (AP 5) Geochemische Modellierung der Reaktion Ton-Zement-Lösung

Die zuvor in den Experimenten zur Charakterisierung durchgeführten Experimente (AP2) werden mit Hilfe des geochemischen Rechencodes EQ3/6 modelliert. Besondere Berücksichtigung findet dabei die Modellierung der Lösungsänderung der Porenlösung der untersuchten Materialien. Mit Hilfe der Phasenanalyse der korrodierten Proben sollen dann die Umsätze der ablaufenden Reaktionen quantifiziert werden.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Für die Quelldruckuntersuchungen an dem Bentonit (MX-80) wurden die mit Hilfe des Kaskadenversuches und der geochemischen Modellierung bestimmten Korrosionslösungen der Reaktion von Salzbeton in Kontakt mit NaCl- bzw. IP21-Lösung verwendet. Ebenfalls wurden Quelldruckversuche mit einer synthetisch hergestellte junge Portlandzementporenlösung durchgeführt.

Die ausgewählten Lösungen wurden mit MX-80 in einer Quelldruckapparatur zum Quellen gebracht und die Quelldrücke nach dem Ablassen des Lösungsdrucks gemessen. Die Versuche wurden mit einem kompaktierten Bentonit mit einer Rohdichte von  $1,6 \text{ g/cm}^3$  durchgeführt. Es wurden Druckaufnehmer am Boden und den Seitenwänden im Reaktionszylinder so befestigt, dass der Quelldruck in horizontaler als auch in vertikaler Richtung gemessen werden konnte.

### **4. Ergebnisse**

Die Ergebnisse zeigen, dass der Quelldruck für die Reaktion von MX-80 mit der Reaktionslösung des Systems Salzbeton M2-4/NaCl-Lösung bei ca. 10 MPa liegt, das entspricht einem Quelldruck, der unter den gleichen Bedingungen für reine NaCl-Lösung beobachtet wird. Die Spannweite bei dieser Untersuchung lag bei 8,9 bar – 12,6 bar. Die parallel durchgeführten Untersuchungen mit Reaktionslösungen des Salzbetons (M2-4) in Kontakt mit IP21-Lösung zeigen ähnliche Quelldrücke (10 MPa) wie sie bei den Reaktionslösungen M2-4/NaCl-Lösung bestimmt worden waren. Auch hier wurde eine ähnliche Spannweite der Ergebnisse von 7,5 bar – 12,1 bar beobachtet. Im Kontakt mit jungem Zementporenwasser konnte ein Quelldruck von ca. 20 MPa beobachtet werden. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen, die aufgrund reduzierter Wasseraufnahme des Bentonits eine Reduzierung des Quelldrucks erwarten ließen, konnte gezeigt werden, dass auch in Kontakt mit hoch alkalischen Lösung ein Quellen des Abdichtmaterials Bentonit (MX-80) zu erwarten ist.

Im allgemeinen konnte festgestellt werden, dass der gemessene Vertikaldruck (Bodendruck) oberhalb des gemessenen Horizontaldrucks (Wanddrucks) liegt. Nur für die Reaktion mit der jungen Porenzementlösung wurde ein höherer Horizontaldruck gemessen. Des Weiteren konnte auch eine starke Abhängigkeit des Quelldrucks bezüglich der Temperatur beobachtet werden.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

(AP1) - (AP4) sind weitest gehend abgeschlossen. Für die Reaktion von Bentonit MX-80 mit Korrosionslösungen des Magnesiabinder werden Quelldruckuntersuchungen durchgeführt und mit den bisherigen Ergebnissen verglichen. Die experimentellen Laborversuche bezüglich der hydraulischen Eigenschaften des Tones werden in der folgenden Periode abgeschlossen werden. (AP5) Mit der geochemischen Modellierung des Systems Zement-Ton-Lösung wird fortgefahren.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9471</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle		
<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 31.03.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 157.669,63 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Brendler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die weltweit erstmalige Entwicklung einer mineralspezifischen thermodynamischen Sorptions-Datenbank. Sie ist Grundlage einer breiten, konsistenten und verifizierbaren Anwendung von modernen Oberflächenkomplexierungsmodellen (Surface Complexation Models – SCM). Diese können vielfach Verteilungskoeffizienten ( $K_d$ -Werte) ersetzen und die Beschreibung von Sorptionsprozessen wesentlich verbessern. Genauigkeit und Verlässlichkeit von Prognosen zur Schadstoffausbreitung werden dadurch erhöht.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Datenbestand (Recherche und Bewertung von originalen Literaturzitierten zu Mineral- und Sorptionsdaten inklusive der Eingabe in die Datenbank)
- AP2: Datenbank-Design und Überarbeitung (Weiterentwicklung der internen Struktur der Datenbank, von Datenmanipulationsfunktionen, sowie von Prototypen der Eingabe- und Ausgabemasken; Erstellung eines ersten funktionsfähigen Prototyps der Datenbank; Eingabe bis dahin gesammelter Daten; Testläufe zur Ausgabe selektierter Datensätze, deren spezieller Formatierung und Konvertierung)
- AP3: Nutzerschnittstelle (Fehlerbehebung, Designverbesserung und Funktionalitätserweiterung der Datenbank mittels Feedback aus AP2; Gestaltung einer nutzerfreundlichen Schnittstelle)
- AP4: Datenverarbeitung (Zusätzliche Module zur Umrechnung von Daten in unterschiedliche Maßeinheiten, Umformung chemischer Reaktionsgleichungen, sowie Extrapolation von Sorptionsdaten in thermodynamisch definierte Standardzustände)
- AP5: Netzwerkfähigkeit (Überführung der Datenbank von einem Stand-alone-PC in eine Netzwerkversion; Maßnahmen zum Schutz von Zugriffsrechten, Datenintegrität und Sicherung geistigen Eigentums)
- AP6: Dokumentation (direkt an die Datenbank gebundene Online-Hilfe sowie separates Manual in digitaler und gedruckter Form)



### 3. Durchgeführte Arbeiten

AP1:	Literaturrecherche	Fortsetzung	wird fortgesetzt
	Eingabe von Sorptionsdaten	Fortsetzung	wird fortgesetzt
	Eingabe von Methoden + Modellen	begonnen	wird fortgesetzt
AP2:	Erstellung DB-Prototypen	begonnen	abgeschlossen
AP3:	Eingabe- und Ausgabemasken	Fortsetzung	abgeschlossen
	Datenexport	begonnen	wird fortgesetzt
AP4:	Datenumrechnung	Fortsetzung	wird fortgesetzt
AP5:	Netzwerkzugriff (Intranet)	Fortsetzung	wird fortgesetzt
AP6:	Online-Hilfe	Fortsetzung	wird fortgesetzt

### 4. Ergebnisse

- Im Berichtszeitraum (Werte in Klammern: Gesamtstand) wurden 6(86) Minerale, 67(422) Datensätze zu spezifischen Oberflächen, 37(526) Protolyse- und 214(1382) Komplexbildungskonstanten neu in der DB erfasst. Die Recherche läuft kontinuierlich weiter, bisher sind 848 Literaturreferenzen erfasst.
- Basierend auf dem Test des Prototyps der DB wurde das Konzept der Nutzerschnittstelle überarbeitet und Fehler behoben. Die DB wird nun neben MS Access 97 auch als MS Access 2000 Version bereitgestellt, beide sind bereits eingeschränkt in Intranets nutzbar.
- Die Nutzerschnittstelle wurde um ein Menü zur Zusammenstellung komplexer Datensätze für eine Ausgabe in Speziationssoftware erweitert. Routinen zur Normierung von SCM-Datensätzen bezüglich von Standard-Bindungsstellenkonzentrationen wurden entwickelt. Das online-Manual und die Druck-Version des Datenbank-Handbuches wurden auf eine gemeinsame XML-Urversion zusammengeführt. Der Export von Ergebnissen aus Datenbank-Recherchen in MS Excel wurde bereitgestellt.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Literaturrecherche, Dateneingabe und Aufbau „Knowledge-Base“
- AP3: Export von Datensätzen für komplexe Szenarien in separate Speziationssoftware
- AP4: Erstellung von Stöchiometriematrizen für Oberflächenreaktionen
- AP5: Simultaner Zugriff auf Datensätze in der Netzwerkversion
- AP6: Online-Hilfe

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

- Eingeladener Vortrag bei der 23<sup>rd</sup> Rare Earth Research Conference, Davis, California, July 14-18, 2002
- Vortrag bei der International Conference and Workshop "Uranium Mining and Hydrogeology III", Freiberg, September 15-21, 2002

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9481</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren		
<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 31.03.2004		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 280.063,20 EUR		<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Michel

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Tone als Material für geotechnische Barrieren weisen eine hohe Sorptionskapazität für kationische Schadstoffe auf. Ihre Fähigkeit, Anionen zu sorbieren ist sehr gering, kann aber wesentlich verbessert werden, wenn die anorganischen Zwischenschichtkationen gegen organische Kationen ausgetauscht werden. Übergreifendes Ziel dieses Vorhabens ist es, ausgewählte Organo-Ton-Systeme hinsichtlich der folgenden Punkte zu prüfen und das oder die geeignetsten Systeme zu identifizieren: maximale Sorptionskapazität für Anionen, maximale Selektivität für Iodid (evtl. Pertechnetat), bzw. Chromat und Arsenat, hohe Stabilität unter simulierbaren Endlager- bzw. UTD-Bedingungen, einfache und kostengünstige Herstellung.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Entwicklung von Organokationen
- AP 2: Herstellung von Organotonen
- AP 3: Prüfung ausgewählter Organoton-Systeme bezüglich ihrer Sorptionskapazität
- AP 4: Charakterisierung vielversprechender Organoton-Systeme
- AP 5: Identifizierung der geeignetsten Kombination(en) aus Tonen und Organokationen
- AP 6: Retardation von chemotoxischen Anionen
- AP 7: Sorption bei verschiedenen Temperaturen
- AP 8: Thermische Stabilität von Organotonen
- AP 9: Chemische Stabilität im salinaren Milieu
- AP 10: Auswertung / Berichterstattung

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- AP 4: Strukturelle Charakterisierung des Zwischenschichttraumes der Organotone
- AP 5: Identifizierung der geeignetsten Ton-Organokation-Kombinationen
- AP 6: Sorptionsversuche mit Chromat(VI) in Abhängigkeit von pH-Wert und Zeit
- AP 7: Versuche zur Sorption von Iod an Organotonen bei Temperaturen von 20-90°C
- AP 8: Thermische Stabilität von Organotonen
- AP 9: Chemische Stabilität im salinaren Milieu
- AP 10: Auswertung / Berichterstattung

#### 4. Ergebnisse

AP 4: Durch Vorweitung mit bestimmten Alkyammoniumionen (C8, C18) kann die vollständige Organophilierung der Zwischenschichten von aufweitbaren Dreischichtsilicate erreicht werden, die die genauere strukturelle Kennzeichnung des Zwischenschichttraums und die Quantifizierung der maximalen Anionenaustauschkapazität ermöglicht. Durch Organophilierung werden für die einzelnen organischen Kationen zum Teil verschiedene Zwischenschichtstrukturen erhalten. Das Zwischenschichtwasser bei den Organotonen, das vermutlich eine wesentliche Rolle für Anionenaustauschvorgänge einnimmt, wurde quantifiziert und die kritische Temperatur für die Abgabe bestimmt. Die verschiedenen Zwischenschichtanordnungen der organischen Kationen wurden mit Hilfe der Basisnetzebenenabstände ermittelt.

AP 5: Nach Abschluss der Iod- und Chromat(VI)-Sorptionstests wurde entschieden, die Versuche mit drei Tönen und vier verschiedenen Organokationen weiterzuführen. Bei letzteren handelt es sich um Hexadecylpyridinium (HDPy<sup>+</sup>), Benzethonium (BE<sup>+</sup>), Hexadecyltrimethylammonium (HDTMA<sup>+</sup>) und Dodecyldipyridinium (DDDPy<sup>+</sup>).

Die Sorptionsversuche mit Chromat(VI) bei pH 5 wurden bezüglich des Sorptionsmaximums und der Affinität zum Sorbenten (Kurvenanpassung nach Langmuir) ausgewertet. Der Vergleich von den Bentoniten mit dem Vermiculit zeigt eine deutlich höhere Affinität von Chromat(VI) zu den Organo-Vermiculiten. Der Vermiculit mit HDPy<sup>+</sup> zeigt die höchste Affinität zum Chromat(VI).

AP 6: Die Cr(VI)-Desorptionsversuche an den geeignetsten Organotonen wurden bisher mit H<sub>2</sub>O und Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mehrmalig durchgeführt. Dabei konnte keine nennenswerte Desorption von Chromat(VI) festgestellt werden. Es sind weitere Messreihen zur Cr(VI)-Desorption unter definierten Bedingungen mit Medien höherer Ionenstärke geplant.

AP 7: Die Temperaturversuche zu allen 12 Ton-Organokation-Kombinationen laufen. Ergebnisse liegen für 20 und 40 °C vor. Wie bereits die Vorversuche zeigten, bewirkte die Erhöhung der Temperatur während des Sorptionsvorganges eine leichte Abnahme bei den K<sub>d</sub>-Werten für alle Bentonit-Varianten. Beim Vermiculit deutete sich dagegen für HDTMA<sup>+</sup> und DDDPy<sup>+</sup> eine leichte Zunahme der Sorption infolge Temperaturerhöhung an, die jedoch erst nach Erhalt der Ergebnisse für die übrigen Temperaturstufen überprüft werden kann.

AP 8: Bei der Kennzeichnung der thermischen Stabilität von Organotonen wurden die kritischen Temperaturen für die Abgabe des Zwischenschichtwassers (40-70 °C) und die Zersetzung der organischen Kationen (~200°C) in einer simultanen Thermoanalyseapparatur (TG/DTA) bestimmt. Die temperaturabhängige Volumenkontraktion von Organotonen wurde in situ mit der Röntgenbeugungsanalyse bestimmt.

AP 9: Vorversuche wurden mit HDPy-MX-80-Bentonit in gesättigter NaCl-Lösung und IP-21, der paragenetischen Gleichgewichtslösung einer Steinsalzformation, durchgeführt. Die IodSORPTION sank unter dem Einfluss der salinaren Lösungen auf 62 %, bzw. 72 % der angebotenen Menge gegenüber fast 100 % in bidestilliertem Wasser.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

An den Arbeitspaketen 6, 7 und 8 wird kontinuierlich weiter gearbeitet, für AP 9 sind die Vorversuche beendet, so dass in Kürze mit den eigentlichen Versuchen begonnen werden kann. Im Rahmen von AP 4 sollen zur Bestimmung von Bindungspositionen und zur Chromatspezifizierung Proben mittels Röntgen-Absorptionsspektroskopie (XAFS) am Synchrotron des FZ Karlsruhe (ANKA) untersucht werden.

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

B. Riebe, C. Bunnenberg: Retention of anionic radionuclides by natural and organophilic clays in high-molar saline solutions. Vortrag auf der Tagung „Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement“ in Reims, Dezember 2002.

<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 31.03.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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 quantitátsgerechte 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 quantitátsgerechte 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

- Aktualisierung der Literaturrecherche
- Fortführung der Arbeiten zur Optimierung der Anzucht von *Desulfovibrio äspöensis* Biomasse (Äquivalente einer Aktivkultur des Stammes DSM 10631<sup>T</sup> von der DSMZ, schrittweise Verringerung des Fe-Gehaltes im anaeroben Medium, Kultivierung auf festem Medium)
- Aufnahme der Wachstumskurven der Bakterien mittels UV-Vis Spektroskopie
- Charakterisierung der Biomasse (Lichtmikroskop und REM, molekularbiologische Charakterisierung)
- Fortsetzung der Installation der Apparaturen zur Biomassegewinnung

- Weiterführung der Installation der Geräte in der Glove Box zur Akkumulation der Actinide an der Biomasse
- Fortführung der Versuche zur Aufklärung der Wechselwirkung der Biomasse mit Uran(VI)
- spektroskopischen Messungen zur Aufklärung der U-Speziation im Bioakkumulat (erste Probenpräparation zur Charakterisierung des akkumulierten Urans mittels XAS) und in den Lösungen der Reduktionsversuche
- Beginn der Arbeiten zur Charakterisierung der Art der Wechselwirkungen von Curium mit der Biomasse

#### 4. Ergebnisse

- Teilziel 1: qualitäts- und quantitátsgerechte Produktion der Biomasse:  
Ein Wachstum konnte erstmals auch mit 0 mg/l Eisen im Anzuchtmedium beobachtet werden. Die gebildete Biomassemenge ist jedoch sehr gering. Für die Versuche mit den Actiniden enthielt das Anzuchtmedium Eisen im Spurenbereich ( $7.5 \times 10^{-7} \text{M}$ ). Bei der Verwendung von Acetat als Kohlenstoffquelle anstelle von Lactat wurde kein Wachstum beobachtet. Es gelang, *D. áspöensis* auf festem Medium zu kultivieren.
- Es gelang, die molekularbiologische Charakterisierung der *D. áspöensis* Kulturen durch den Restriktionsverdau der PCR-Fragmente. Die Identifizierung gelingt durch den Vergleich der theoretischen Fragmente mit den tatsächlich erhaltenen.
- Teilziel 2: Wechselwirkung von *Desulfovibrio áspöensis* mit den Actiniden
- A) Uran: Die Experimente bei pH 5 und variabler Urankonzentration (9 mg/l bis 253 mg/l) zeigten, dass schon bei einer Urankonzentration von 89 mg/l prozentual weniger Uran durch die Biomasse reduziert wird als bei einer Anfangskonzentration von 9.5 mg/l. Höhere Urankonzentrationen scheinen sich inhibierend auf das Reduktionsvermögen von *Desulfovibrio áspöensis* auszuwirken. Zusätzliche Experimente zeigten auch bei Abwesenheit eines Elektronendonors (Lactat) eine Abnahme der Urankonzentration in der obenstehenden Lösung. Demzufolge scheint die Zugabe eines Elektronendonors nicht unbedingt erforderlich zu sein, um das angebotene Uran(VI) zu reduzieren. Im Berichtszeitraum wurden erstmalig XAS Messungen an *Desulfovibrio áspöensis* Biomassen, die mit Uran kontaktiert wurden, bei ROBL durchgeführt. So gelang der erste spektroskopische Nachweis, dass diese Sulfat reduzierenden Bakterien in der Lage sind, das angebotene U(VI) zu U(IV) zu reduzieren. Eine erste Faktorenanalyse des XANES Spektrums ergab, dass die Probe 20% U(IV) und 80% U(VI) enthält.
- B) Curium: Erste Experimente deuten auf einen anderen Mechanismus der Wechselwirkung, die Biosorption, hin. Bei pH 5 und 6 liegt das Curium biosorbiert an den Bakterien vor. Bei pH 3 konnte keine Wechselwirkung mit den Bakterien beobachtet werden.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Gewinnung der *Desulfovibrio áspöensis* Biomasse, Optimierung der Herstellungsprozedur
- Genetische Charakterisierung der Biomasse
- Abschluss der Arbeiten zur Reduktion des Urans
- Bioakkumulation von Cm in Abhängigkeit des pH-Wertes und des Leitelektrolyten
- Versuche zur Wechselwirkung mit Plutonium und Neptunium
- spektroskopische Messungen am Bioakkumulat

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9501</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Goelektrische Untersuchung der Ent sättigung des Opalinustons im Ventilationsversuch 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> 01.07.2001 bis 31.03.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 283.253,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geophys. Rothfuchs	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Neben Steinsalz und Granit werden Tonsteinformationen als Wirtsgesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle betrachtet. In der Schweiz wird seit Jahren die Eignung der Opalinus-Tonsteinformation erkundet. Nahe St. Ursanne wurde hierzu parallel zum Mt. Terri-Tunnel ein Untertagelabor errichtet.

Bei der Errichtung eines Endlagers werden Strecken aufgefahen und bewettert, so dass von einer Austrocknung des Tongesteins und somit von einer erheblichen Änderung der petrophysikalischen Eigenschaften des Gesteins in der beeinflussten Zone auszugehen ist. Zur Untersuchung dieser Effekte wird zusammen mit ENRESA, NAGRA und IPSN ein repräsentativer Ventilationsversuch durchgeführt. Untersucht werden die Veränderungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Gebirgseigenschaften.

Der Versuch bietet eine gute Gelegenheit, die räumliche und zeitliche Gebirgsentsättigung mit gleichstrom-geoelektrischen Messungen zu überwachen bzw. diese Messmethode im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit zur Überwachung einschlusswirksamer Endlagerbereiche zu überprüfen bzw. zu ertüchtigen.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projekts "Ventilation Experiment in Opalinus Clay" von der Europäischen Union gefördert.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Projektplanung und Erstellung eines Testplans
- Laboruntersuchungen zur Ableitung einer Relation zwischen Wassergehalt und Resistivität
- Beschaffung der Versuchseinrichtungen und Versuchsaufbau
- Durchführung des Ventilationsexperimentes
- Fortlaufende Auswertung der In-situ-Messdaten und
- Erstellung des Abschlussberichtes

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Wiederanschluss der Messketten sowie Durchführung einer Nullmessung und Inbetriebnahme der regelmäßigen Messungen
- Laborkalibrierung zur Bestimmung der Resistivitäts-/Feuchtegehalts-Beziehung

### 4. Ergebnisse

- Bei erneuten Testmessungen wurde festgestellt, dass einige Elektroden, die beim letzten Einsatz im Juni 2002 bei einer Einspeissspannung von 12V als möglicherweise nicht angekoppelt erkannt wurden, bis auf eine Elektrode Ergebnisse lieferten, und damit definitiv angekoppelt sind. Durch die fehlende Elektrode ergeben sich keine unakzeptablen Bedingungen bzgl. der Auswertungen.
- Die wiederaufgenommenen Messungen bestätigten die ursprüngliche Nullmessung bezüglich der Resistivitätsverteilung. Insbesondere lieferten sie keinen Hinweis auf eine bereits entsättigte Zone in Nahbereich des Mikrotunnels. Die Resistivität liegt überwiegend im Bereich von 10 bis 15 .
- Die Resistivitätsmessungen, ausgehend vom Lieferzustand der Proben, ergaben eine Resistivitätserhöhung mit abnehmender Feuchte. Bei einer durch Trocknung bei Raumtemperatur hervorgerufenen Massenabnahme von ca. 3 % stiegen die Resistivitäten von ca.  $6 \Omega m$  im Anlieferungszustand auf ca.  $28 \Omega m$  . Die Untersuchungen, ausgehend vom aufgesättigten Zustand unter definierten Trocknungsbedingungen, werden noch fortgesetzt.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Regelmäßige Auswertung und Interpretation der Feldmessungen
- Erstellung eines zusammenfassenden Berichtes über die Laborkalibrierungen

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<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 31.01.2004		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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**

Die Zusammenstellung von Basisdaten und Randbedingungen für Endlagerstandorte in Deutschland sowie Belgien, Frankreich und der Schweiz bezüglich

- Abfallmengen
- Endlagerszenarien
- Behältermaterialien und
- Aspekten der Standorterkundung

im Rahmen des AP1 wurde abgeschlossen.

Die Arbeiten zu den Endlagerbehälterkonzepten im AP2 wurden fortgeführt. Des Weiteren wurden die Arbeiten im AP3 Endlagerauslegung/-technik mit der Beschreibung der internationalen Konzepte und der konzeptionellen Auslegung der Tagesanlagen fortgeführt.

**4. Ergebnisse**

Der im Rahmen des Arbeitspaketes 1 "Zusammenstellen der Basisdaten und Randbedingungen für eine vergleichende Gegenüberstellung" ermittelte Stand der internationalen Endlagerforschung in den Ländern Belgien, Frankreich, Schweiz und Spanien wurde dem Stand in Deutschland für das Wirtsgestein Salz gegenübergestellt. Die Datensammlung ergibt genügend Informationen um eine mit dem Salzkonzept vergleichbare Endlagerkonzeption für Deutschland zu entwickeln. Da z. Zt. die Schweiz im "Projekt Opalinuston" mit dem Bericht "Entsorgungsnachweis für ausgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle sowie langlebige mittelaktive Abfälle" substantielle Fortschritte im nationalen Untersuchungsprogramm erzielt, werden auch diese Ergebnisse im weiteren Verlauf der Bearbeitung noch berücksichtigt.

**5. Geplante Weiterarbeiten**

Mit Abschluss der Arbeiten am AP2 werden die Arbeiten am AP3 mit der Berechnung einer Startkonfiguration für ein Endlagerfeld fortgeführt. Parallel erfolgt die Auslegung des untertägigen Bereiches.

**6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

**7. 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 31.07.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 366.000,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Frau Dr.-Ing. Müller-Hoeppe	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens ist es, 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, ist geplant, eine nachweisbare obere Schranke für das Gesamtrisiko zu ermitteln. Dieser Wert lässt sich sowohl mit von konventionellen technischen Anlagen ausgehenden hypothetischen Risiken als auch mit realen Lebensrisiken von Menschen vergleichen. Der Vergleich soll 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

**AP1:** Zu AP 1 erfolgten im Berichtszeitraum keine weiteren Arbeiten

**AP2:** Für ein Endlager im Wirtsgestein Granit lässt sich das Sicherheitsnachweiskonzept nur in Grundzügen übertragen und führt bei einer dem Salz vergleichbaren Bewertung der geologischen Barriere Granit als Permeationsbarriere zu völlig unrealistisch großen Barrierendicken. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Sachverhalt, dass der Granit selbst nicht als hydraulisch wirksame Barriere betrachtet werden kann, sondern lediglich stabile Randbedingungen für die technischen Barrierensysteme schafft.

**AP3:** Die Zusammenstellung quantitativer Daten zur Ermittlung des Sicherheitsniveaus für Einzelbarrieren konzentrierte sich im Berichtszeitraum auf die Bewertung der geotechnischen Barrieren, wie Schachtverschlüsse und Abdichtungen/Dämme, und deren hydraulischen Widerstand. Der hydraulische Widerstand der geotechnischen Barrieren wird bestimmt durch die drei Elemente Abdichtungs-

körper, Auflockerungszone und Kontaktzone, die parallel zueinander angeordnet sind. Während für den Abdichtungskörper zumindest in einigen Fällen (mineralische Werkstoffe, Bentonit) für bestimmte Lastfälle schon eine zur Quantifizierung verwertbare Datenbasis vorliegt, ist die Datenbasis zur Bewertung von Auflockerungszonen im Ton und Granit deutlich schlechter. Zur Bewertung von Kontaktzonen liegen keine Daten vor. Zum Vergleich wurde die Datenbasis zur Bewertung des hydraulischen Widerstandes geotechnischer Barrieren im Salz zusammengestellt. Sowohl die empirische Erfahrung im Bergbau als auch die Vorgaben aus dem technischen Regelwerk zwingen dazu, die Kontaktzone gesondert zu bewerten, da sie oft das hydraulische Verhalten eines Dichtungssystems dominiert.

**AP4:** Die Bestimmung von Teilsicherheitsbeiwerten für die einzelnen Permeationsbarrieren als Gesamtkonstruktion erwies sich als nicht sinnvoll. Sehr wesentlich ist auch im Falle der Teilsicherheitsbeiwerte die Unterscheidung in die verschiedenen hydraulisch parallel wirksamen Elemente Abdichtungskörper, Auflockerungszone und Kontaktzone. Da für die probabilistische Absicherung verschiedener Teilsicherheitsbeiwerte die Datenbasis nicht ausreicht, wird weiterführend die Abhängigkeit des Sicherheitsniveaus von den entsprechenden Parametern bestimmt und die für eine sinnvolle quantitative Berechnung erforderliche Genauigkeit dieser Parameter abgeschätzt.

**AP5:** noch nicht begonnen

#### **4. Ergebnisse**

Im Zusammenhang mit der Erstellung der Datenbasis zur Quantifizierung von geotechnischen Barrieren konnte festgestellt werden, dass für einige Materialien eine Datenbasis vorliegt, die es erlaubt, den Abdichtungskörper quantitativ zu bewerten. Dabei zeigte sich, dass es offensichtlich Bedingungen gibt, unter denen in einem Material kein Transport von Wasser oder wasserlöslichen Stoffen mehr stattfindet, obwohl für das Material mit Gas eine Permeabilität gemessen werden kann. Eine Erklärung dafür können elektrokinetische Kräfte zwischen den Materialien und den polaren Flüssigkeiten sein. Für Auflockerungszonen ist die vorhandene Datenbasis deutlich schlechter und zur Bewertung von Kontaktzonen liegt kein Datenmaterial vor. Speziell für Kontaktzonen sind auch im Regelwerk bisher keine Teilsicherheitsbeiwerte formuliert.

#### **5. Geplante Weiterarbeiten**

AP1: Neu vorliegende Information wird in die Arbeiten einbezogen. Dies gilt insbesondere für den zwischenzeitlich vorliegenden Abschlussbericht des AkEnd

AP 2: Die Untersuchung von Einzelbarrieren wird fortgesetzt. Dabei werden im nächsten Schritt die Behälter einbezogen

AP3: Die Zusammenstellung quantitativer Daten und die Bewertung von Einzelbarrieren wird weitergeführt.

AP4: Die Arbeiten zur Bestimmung von Teilsicherheitsbeiwerten werden unter Berücksichtigung der modifizierten Vorgehensweise auf Grund der teilweise unzureichenden Datenbasis weitergeführt.

AP5: siehe Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

#### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

#### **7. 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 30.09.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 776.653,14 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 entwickelten faseroptischen Sensoren in einer Tonformation demonstriert werden. Die in Computerprogrammen für sicherheitstechnische Auslegungsrechnungen 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. Die notwendige Adaption an das Verhalten der Tonformation stellt ein geringes Risiko dar.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Zu 1: Vereinbarungsgemäß wurde ein Dokument zur Qualitätssicherung bestehend aus den Teilberichten „Allgemeine Qualitätssicherung“, „Arbeiten zur Installation“, „Verwendete Materialien“ sowie „Wartung und Datenverwertung“ erstellt.
- Zu 3. Es wurde eine technische Lösungsmöglichkeit zur Integration der faseroptischen Messdaten in das Datenbanksystem der ANDRA entwickelt. Die verwendete Software zur Datenerfassung (Labview) wurde geändert um die Kommunikation mit der Datenbanksoftware SMACS der Firma Soldata zu ermöglichen. Dazu wurde das Modbus Protokoll eingeführt. Zur Funktionsprüfung wurde die Datenerfassungsanlage im Labor in Bure installiert und die Kommunikation erfolgreich getestet.

Auf Grund der zu erwartenden hohen Temperaturen im Rahmen des geplanten Erhitzeexperimentes der ANDRA (180°C) wurde die Art der Fixierung der optischen Faser an Gehäuse und Gestänge verändert, die bisher für Temperaturen bis 100 °C ausgelegt war. Es wurden Tests mit einer metallummantelten Faser durchgeführt, die dann mit dem Gestänge verschweißt wurden. Die durchgeführten Laborversuche deuten allerdings darauf hin, dass die Langzeitstabilität des Systems unter dieser Fixierung leidet. Versuche mit verschiedenen Klebematerialien brachten dagegen gute Ergebnisse, so dass ein Einsatz bei Temperaturen bis 180 °C nun möglich ist. Der Fasermantel der Bragg-Gitter wurde ebenfalls verändert. Anstelle von Acrylat wurde Ormocer Material verwendet. Test bis 180 °C ergaben keinerlei Probleme.

### 4. Ergebnisse

Die Sensorsysteme wurden für den Einsatz in einer Temperaturumgebung bis 180 °C vorbereitet und erfolgreich getestet.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Erstellung weiterer versuchsspezifischer Planungsdokumente.
- Vorbereitung der faseroptischen Systeme, die für den Einsatz im ersten Experiment in der Schachtnische vorgesehen sind.
- Weitere Berechnungen zum Verformungsverhalten der Tonformation in Schachtnähe.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Fiber Optic Measurements at Bure, Quality Assurance Plan (PAQ) for the experiments REP, REG and TER

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9541</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Vorprojekt zur Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im URL Bure	
<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 31.12.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 737.738,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Zhang

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des Vorprojektes besteht darin, die Beteiligung an den von der ANDRA im Untertagelabor Bure (MHM-URL) ab 2003 geplanten Experimente durch orientierende Voruntersuchungen im Labor vorzubereiten und konkrete Einzelprojekte in Fachgesprächen mit der ANDRA zu vereinbaren. Im Rahmen des Projektes sollen folgende Arbeitsschritte durchgeführt werden:

- a) Fachgespräche mit ANDRA zur Vereinbarung konkreter Projektbeteiligungen,
- b) Orientierende geotechnische Laboruntersuchungen und Modellrechnungen,
- c) Orientierende geochemische Laboruntersuchungen.

Der Nutzen des Projektes liegt in der Optimierung der Planung der Beteiligung an Experimenten im MHM-URL. Durch die Ergebnisse können Fehlplanungen aufgrund unzureichender Kenntnisse des Wirtsgesteins vermieden und dringend benötigte Vorkenntnisse bereitgestellt werden.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geotechnik

- Zusammenstellung wesentlicher Materialdaten und THM-Stoffmodelle
- Aufstellung und Durchführung eines Laborprogramms (gekoppelte HM-Versuche, gekoppelte THM-Versuche, Dilatanzmessung, Permeabilitätsmessung, Injektionsversuche)
- Beschaffung und Erprobung eines THM-Rechenprogramms
- Durchführung orientierender THM-Modellrechnungen

Geochemie:

- Machbarkeitsstudie zur Durchführung von Kaskadenauslaugversuchen;
- Machbarkeitsstudie zur Bestimmung von Diffusionskoeffizienten.

Erstellung des Abschlussberichtes.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Durchführung eines gekoppelten THM-Versuchs an einer Tonprobe
- Weiterführung der Ultraschallmessung zur Untersuchung von Materialschädigungen
- Beschaffung von Oedometerzellen zur Messung des Quelldruckes, der Quellverformung und der Permeabilität von Tonmaterialien
- Modellrechnungen für hydro-mechanische Laborversuche mit CODE-BRIGHT
- Aufbau einer Apparatur zur Untersuchung der Diffusion in Tonsteinen
- Durchführung eines Kaskadenauslaugversuches

### 4. Ergebnisse

- Im ersten THM-Versuch an einer Tonprobe wurde folgendes vorläufig festgestellt:
- Eine Erhöhung der Mittelspannung von 15 MPa auf 18,7 MPa bewirkt eine Erhöhung des Porenwasserdruckes von bis zu ca. 1 MPa und eine Zunahme des Probevolumens von ca. 0,25% bei  $T = 30^{\circ}\text{C}$ ; (2) Eine Temperaturerhöhung von  $30^{\circ}\text{C}$  auf  $90^{\circ}\text{C}$  führt zu einer Steigerung des Porenwasserdruckes von ca. 1 MPa auf ca. 12 MPa und zu einer Zunahme des Probevolumens von ca. 0,28% bei der Mittelspannung von 18,7 MPa.
- Die Modellrechnungen für Laboruntersuchungen zu Quelldruck, Quellverformung, Aufsättigung, Entsättigung und Kompaktion von Tonmaterialien haben gezeigt, dass das THM-Programm CODE-BRIGHT in der Lage ist, die gekoppelten hydro-mechanischen Prozesse zu simulieren und physikalisch zu interpretieren.
- Der Diffusionsversuch dauerte einen Monat, bis die erste Lösung durch den trockenen Tonstein gedrungen war. In den darauf folgenden zwei Monaten bis zum Beginn des eigentlichen Diffusionsversuches änderte sich die Oberflächenleitfähigkeit nicht mehr.
- Im Kaskadenauslaugversuch wurde nach zwanzig Kaskaden noch kein Gleichgewicht zwischen Lösung und Tonstein erreicht.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Fachgespräche mit ANDRA zur endgültigen Festlegung der Beteiligung am MHM-URL - Forschungsprogramm
- Weiterführung der Zusammenstellung von Materialdaten und THM - Stoffmodellen
- Modifizierung des THM - Versuchssystems und Weiterführung von THM -Versuchen
- Untersuchung von Ventilationseffekten auf die Entwicklung einer EDZ
- Zusammenbau und Erprobung von Oedometerzellen zur Messung des Quelldrucks, der Quellverformung und der Wasserpermeabilität von Tongesteinen
- Durchführung orientierender THM - Modellrechnungen für Laboruntersuchungen
- Fortsetzung des Diffusionsversuches
- Fortsetzung des Kaskadenauslaugversuches

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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 stattgefundenen 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

Weitergehende Charakterisierung des Standorts Ruprechtov

- Kernbeschreibung und  $\gamma$ -spektroskopische Charakterisierung der Bohrkerne
- Langzeitpumpversuche in allen sechs Bohrungen
- Verteilung geeigneter Kernsegmente an beteiligte Institutionen zur Durchführung der analytischen Arbeiten (chemische und mineralogische Analyse, Radiometrie, sequentielle Extraktion und Sedimentation, mikroskopische Analyse, EXAFS, Porenwasseranalyse)

Weitergehende Charakterisierung des Standorts Heselbach

- Auswertung sedimentanalytischer Daten (ICP, RFA; Kationenaustauschkapazität)
- Sedimentologische Untersuchungen (Siebanalysen)
- Fünfstufige sequentielle Extraktion an acht ausgewählten Proben
- Kurzzeit-Pumpversuche zur Ermittlung des  $k_f$  Wertes
- Vierteljährliche Grundwasserprobenahme mit Analytik der Haupt- und Spurenelemente
- Vierteljährliche Auslesung der Wetterstationsdaten und Aufbereitung der Messwerte

### 4. Ergebnisse

Heselbach:

- Signifikante Uranpeaks in den Sedimenten wurden bestätigt. Die Gehalte liegen mit 767 ppm über den bisher nachgewiesenen Konzentrationen und sind auf engstem Raum heterogen verteilt.
- In zahlreichen Sedimentproben korreliert der Urangehalt mit den TOC- und  $Fe^{2+}$ -Gehalten. Eine Mitfällung des U an Fe-Mineralen und/oder Sorption an Mineralkörner in lokal reduzierenden Sedimentschichten werden als wahrscheinliche Anreicherungsprozesse des Urans angenommen.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Beprobung des Grundwassers an den neuen Grundwassermessstellen:

- Ermittlung der chemischen Zusammensetzung und des Gehalts an natürlichen Isotopen.
- Verbesserung der Messung von Eh, pH und  $S^{2-}$  Konzentration mit einer In-situ-Sonde
- Bestimmung der lokalen Grundwasser-Fließrichtung und -Geschwindigkeit mit der Einbohrlochmethode.

Auswertung der Sediment- und Grundwasseranalysen vom Standort Ruprechtov und Vorbereitung einer weiteren Bohrkampagne auf Basis der Ergebnisse.

Arbeiten am Standort Heselbach:

- Durchführung von Slug- and Bail-Tests zur Ermittlung von hydraulischen Leitfähigkeiten.
- Weiterführung der analytischen Arbeiten an den Sedimentproben. Zusätzlich EXAFS-Messungen und Mikrosonden-Analytik an ausgewählten Proben mit hohen Uran-Gehalten.
- Bestimmung der Porositäten an Braunkohlenmaterial.
- Tritium Messung an ausgewählten Grundwasserproben.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

U. Noseck; T. Brassler, A. Laciok, M. Hercik, F. Woller: Uranium Migration in Argillaceous Sediments as Analogue for Transport Processes in the Far Field of Repositories (Ruprechtov Site, Czech Republic). In Uranium in the Aquatic Environment. B.J. Merkel, B. Planer-Friedrich, C. Wolkersdorfer (eds.) Springer-Verlag 2002.

T. Brassler U. Noseck, D. Schönwiese: Uranium Migration in Argillaceous Sediments as Analogue for Transport Processes in the Far Field of Repositories (Heselbach Site, Germany). In Uranium in the Aquatic Environment. B.J. Merkel, B. Planer-Friedrich, C. Wolkersdorfer (eds.) Springer-Verlag 2002.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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**

Je 10 Quelldruckmessungen an MX-80 mit einer Einbaudichte von  $1,6 \text{ g/cm}^3$  mit NaCl- und IP21-Lösung wurden durchgeführt. Die Apparatur zur Messung von Quelldrücken bei erhöhten Temperaturen wurde gebaut und bei 70 °C erfolgreich getestet. Eine große zylindrische Zelle zur Messung von Quelldrücken wurde gebaut und getestet. Eine quaderförmige Zelle mit dem gleichen Innenvolumen wie das der großen zylindrischen Zelle wurde gebaut und befindet sich in der Testphase. Damit sind alle apparativen Voraussetzungen zur Durchführung aller im Projekt geplanten Messungen realisiert.

**4. Ergebnisse**

Der Mittelwert der Quelldrücke von MX-80 (Einbaudichte  $1,6 \text{ cm}^3$ ) mit IP21-Lösung liegt bei  $10,9 \pm 2,9$  bar und der mit NaCl-Lösung bei  $7,0 \pm 3,7$  bar. Damit hat sich bestätigt, dass Quelldrücke mit IP21-Lösung deutlich höher liegen als solche mit NaCl-Lösung. Diese Ergebnisse sind statistisch abgesichert. Die Quelldrücke von MX-80 mit IP21 bei 70 °C liegen mit ca. 30 bar fast dreimal so hoch wie bei 25 °C. Erhöhte Temperaturen führen also zu deutlich höheren Quelldrücken. Die ermittelten Absolutwerte müssen allerdings noch abgesichert werden. Quelldruckmessungen an Probekörpern mit kleinerem Volumen in der kleinen zylindrischen Zelle haben gleiche Werte erbracht, wie Messungen in der großen zylindrischen Zelle. Diese vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass das untersuchte Volumen die Quelldruckwerte nicht beeinflusst. Auch diese Ergebnisse sollen durch weitere Messungen noch erhärtet werden.

**5. Geplante Weiterarbeiten**

Die Quelldruckmessungen werden fortgesetzt, zunächst sollen alle geplanten Messungen mit der Einbaudichte von  $1,6 \text{ g/cm}^3$  auch mit den Lösungen IP24, IP19 und IP24 abgeschlossen werden. Gleichzeitig wird die Messmethodik bei Temperaturen von 120 °C getestet. Hier werden größere technische Probleme erwartet, jedoch ist aus den vorlaufenden Arbeiten und Erfahrungen anzunehmen, dass die Messmethodik innerhalb des nächsten halben Jahres stehen wird.

**6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

**7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<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> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 179.087,00 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**

Zu 1.: Vorbereitung gemeinsamer Forschungsvorhaben:

Zu den Vorhaben „Anforderungen an die Standorterkundung für HAW Endlager im Hartgestein (ASTER)“ und „Untersuchungen zur Endlagerung in den Großbohrlöchern“ wurden die notwendigen Abstimmungen mit den beteiligten deutschen Partnern BGR, GRS sowie entsprechenden ausländischen Institutionen für die planmäßige Durchführung der Vorhaben getroffen.

Zu 3.: Planung und Berichterstattung

Der Entwurf des detaillierten Arbeitsprogramms, das die Grundlage für die weiteren Arbeiten in 2003 ist, wurde erstellt.

Das Praktikum für einen Nachwuchsgastwissenschaftler, der über Fragen der Versatzmaterialentwicklung arbeiten soll, wurde vorbereitet und die Durchführung federführend organisiert.

### **4. Ergebnisse**

siehe Ziffer 3

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Neben der Fortführung der Begleitung der Arbeiten zu den unter Ziffer 3 genannten Vorhaben bilden die Abstimmung und Umsetzung des Arbeitsprogramms für 2003 mit den inländischen Institutionen sowie den ausländischen Partnern den Schwerpunkt der weiteren Arbeiten.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> IfG, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9582</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 31.12.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 452.652,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr.-Ing. Kamlot	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In einem Gemeinschaftsvorhaben mit der GRS, Bereich Endlagersicherheitsforschung, werden an einem Hauptanhydritaufschluss, der gegenwärtig infolge Abbaueinfluss erhöhten Gebirgsspannungen ausgesetzt wird, der Spannungszustand, die Hohlraumkonvergenz und die Kluff-permeabilität mit dem Ziel ermittelt, das Barriereverhalten in Abhängigkeit vom Spannungszustand zu bewerten.

Mit hydraulisch/mechanisch gekoppelten Modellrechnungen wird der Einfluss der sich ändernden Gebirgsspannung auf die Kluffströmung im Anhydrit untersucht, wobei die In-situ-Messwerte der Modellüberprüfung dienen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1 Ermittlung der Gebirgsspannungen im Anhydrit und benachbarten Steinsalz mit unterschiedlichen Messverfahren und Nachweis der Änderungen infolge Abbaueinfluss.

AP2 Konvergenzmessungen in der Zufahrtstrecke zum Messort zum zusätzlichen Nachweis der Abbauwirkung.

AP3 Bestimmung der Fluiddruckbelastbarkeit von Anhydritklüften sowie von hydraulischen Kennwerten in Abhängigkeit von der Abbauwirkung.

AP4 Modellierung der Lastumverlagerung auf den klüftigen Anhydrit sowie der sich ändernden hydraulischen Rissintegrität.

AP5 Auswertung und zusammenfassende Berichterstattung.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Weiterführung und Auswertung der Konvergenzmessungen
- Ermittlung des Abströmwiderstandes im kompakten und geklüfteten Anhydrit in Wiederholungsmessungen
- Durchführung von wiederholten Permeabilitätsmessungen
- Einsatz der Bohrlochschlitzsonde im Unterauftrag durch Q+S Consult sowie der SE-Messung zur Risslagenbestimmung im Unterauftrag durch GMuG

### **4. Ergebnisse**

Die Salzgewinnung im unmittelbar zum Messort gelegenen Abbau 2111 war Ende 2002 nahezu abgeschlossen. Die Gebirgsspannungsänderungen konnten, wie bisher, mit den Konvergenzmesstellen verfolgt werden. Die wiederholten Spannungs- und Permeabilitätsmessungen im Anhydrit in kompakter Ausbildung und mit angelegten geologischen Klüften zeigen nunmehr jedoch, dass der Streubereich der in den Messkampagnen ermittelten Messwerte zu groß ist, um die geringen Gebirgsspannungsänderungen auch mit diesen Verfahren nachweisen zu können. Im weiteren Vorhabensverlauf soll deshalb die Aussagegenauigkeit erhöht werden und es ist der Einsatz unterschiedlicher Messmethoden zur gegenseitigen Absicherung vorgesehen.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Entsprechend der Vorhabensbeschreibung.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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 31.12.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 542.610,00 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

AP 1: Weiterführung der Registrierung sowie Vorauswertung der seismischen Ereignisse. Die Firma ESG wurde mit der Erstellung eines Programms zur Filterung der umfangreichen Messdaten bezüglich ihrer Relevanz für die Auswertung und Interpretation der seismischen Ereignisse beauftragt. Weiterhin wurde eine regelmäßige Wartung der Seismikanlage vor Ort vorgenommen.

### 4. Ergebnisse

AP 1:

Aufbauend auf eine von K&S Bernburg zur Verfügung gestellte Liste der Gewinnungsschichten, in der auch der Betrieb an den Wochenenden aufgeführt ist, wurden Nachauswertungen der im BARIAN-Projekt Phase 1 aufgenommenen Ereignisse für den Zeitraum Juli 2001 bis Dezember 2001 vorgenommen. Bei dieser Nachauswertung wurden die Tage an den Wochenenden, an denen ein Betrieb stattfand, nicht mit in die Auswertung übernommen. Hierbei zeigte es sich, dass dadurch die Ereignisse die sich im oberen Bereich des Arrays, die bei einigen Monaten zu beobachten waren, wegfallen und ganz offensichtlich durch die bergbauliche Tätigkeit begründet waren. Interessanterweise lassen sich drei hauptsächliche Bereiche erkennen, und es ist deutlich eine Richtung des Einfallens der Ereignisse zu beobachten. Da bei dieser Auswertung Ereignisse von Juli bis Dezember 2001 zusammengefasst sind, liegt der Schluss nahe, dass mit fortschreitendem Abbau auch damit folgend Ereignisse in den beschriebenen Bereichen angeregt werden. Dies bedarf aber der Auswertung weiterer Messungen und der Weiterführung der Ereignisregistrierung.

Da die manuelle Kontrolle und Filterung der Daten erheblichen personellen Aufwand bedeutet, wurde die Firma ESG (Lieferfirma der Apparatur) damit beauftragt, eine automatische Filterroutine zu entwickeln und in die bestehende Erfassungs- und Auswertesoftware zu integrieren.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Weiterführung der Registrierungen und Auswertung der Ereignisse unter Verwendung der von ESG entwickelten Filterroutine.

AP 2: Permeabilitätsmessungen in unterschiedlich aufgelockerten Gebirgsbereichen werden nach Vorliegen abgesicherter Ortungsergebnisse geplant.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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 31.12.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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**

Am 22. Februar 2002 wurden die elektrischen Erhitzer angeschaltet und heizen seither ohne Unterbrechung.

Unmittelbar vor Anschalten der Erhitzer und dann in etwa 3-monatigen Abständen wurden aus den 4 Untersuchungsbohrlöchern Proben zur Bestimmung der Gasfreisetzung entnommen.

Die geoelektrischen Messungen zur Erfassung der Widerstandsverteilung im Versuchsfeld wurden planmäßig durchgeführt.

Im Labor wurden zur Ermittlung der thermischen Gasfreisetzung in Abhängigkeit von der Zeit 64 Proben präpariert und im Ofen bei 100 °C eingelagert. Die Proben für die Expositionszeiten bis 30 Tagen wurden bereits entnommen und analysiert. Eine Auswertung wurde bisher noch nicht durchgeführt.

Für die geoelektrische Kalibrierung im Labor wurden Kerne aus unterschiedlichen Bohrungen des Mont Terri präpariert, eine definierte Ausgangsfeuchte eingestellt und mit der Messung der Resistivität in Abhängigkeit von der Feuchte begonnen. Für die sich bei 20, 35 und 70 °C einstellenden Feuchten wurden die Messungen abgeschlossen. Die Auswertung soll erst erfolgen nachdem die Messungen bis zur Temperatur von 105 °C beendet worden sind.

### **4. Ergebnisse**

Die In-situ-Untersuchungen haben ergeben, dass in den Untersuchungsbohrlöchern in Erhitzernähe die Konzentration der Komponenten Helium, Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffe langsam ansteigt. Weiterhin hat sich in diesen Bohrlöchern der Druck um 0,5 bar erhöht. Die ursprünglich homogene Resistivitätsverteilung von 15 bis 20  $\Omega\text{m}$  hat sich im aufgeheizten Gebirge auf 5  $\Omega\text{m}$  erniedrigt, die durch die Widerstandserniedrigung der Porenflüssigkeit bei Temperaturerhöhung gedeutet werden kann.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Weiterführung der In-situ-Messungen zur Gasfreisetzung und elektrischen Widerstandsverteilung und der Labormessungen zur Bestimmung der spezifischen Gasfreisetzung in Abhängigkeit von der Zeit sowie zur geoelektrischen Kalibrierung der Wassergehaltsbestimmung.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. 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 31.12.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 360.313,00 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.

## 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**

AP1:

Die Ausgangsdaten für den Granitstandort wurden vervollständigt und in Abstimmung mit den anderen Projektpartnern präzisiert.

Für den Porphyristandort wurden die wesentlichen Ausgangsdaten gleichfalls zusammengestellt und hinsichtlich Vollständigkeit und Plausibilität überprüft.

AP2:

Mit der thermischen Auslegung des Endlagers im Granit wurde begonnen und erste orientierende Rechnungen wurden durchgeführt.

Für Porphyr wurde ein generisches Endlagerkonzept erstellt.

### **4. Ergebnisse**

Bezüglich Granit liegt eine hinreichende Datenbasis für die Bearbeitung vor.

Hinsichtlich Porphyr sind die Ausgangsdaten anlässlich des im Februar 2003 vorgesehenen Standortbesuchs zu vervollständigen.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Vervollständigung der Ausgangsdaten für Porphyr
- Endlagerauslegung für Granit
- Erarbeitung eines Endlagerkonzepts für Porphyr

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. 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

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1,50455 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 31.12.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 272.595,00 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 Porphyry), Anforderungen an eine zielgerichtete Standorterkundung zu ermitteln. Die daraus zu gewinnenden Daten dienen der Konzipierung der Endlagerkonzepte und der Entwicklung sicherheitsanalytischer Modelle. Für die beiden Beispiele sollen orientierende Modellrechnungen durchgeführt werden, die die Sicherheit sowohl der Standorte als auch der Endlagerkonzepte belegen. In der noch sehr frühen Phase sollen der Datenbedarf für eine Endlagersicherheitsanalyse und die notwendigen Maßnahmen zur zielgerichteten geowissenschaftlichen Erkundung eines Standortes im Hartgestein definiert werden. Das Vorhaben setzt sich sowohl für den granitischen als auch den porphyrischen Standort aus folgenden APs zusammen: AP 1 Basisdaten; AP 2 Endlagerauslegung (DBE); AP 3 Sicherheitsanalytisches Modell (GRS); AP 4 Ableitung Erkundungsanforderungen (BGR); AP 5 Dokumentation.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist wie folgt unterteilt:

### A: Untersuchungen im Granit

- AP 3: Sicherheitsanalytisches Modell
  - Modellentwurf
  - Modellüberprüfung
  - Umsetzung Strömungsmodell
  - Strömungsmodellierung
  - Umsetzung Radionuklidtransport
  - Transportmodellierung

**B: Untersuchungen im Porphyry**

- AP 3: Sicherheitsanalytisches Modell
  - Modellentwurf
  - Modellüberprüfung
  - Umsetzung Strömungsmodell
  - Strömungsmodellierung
  - Umsetzung Radionuklidtransport
  - Transportmodellierung

**3. Durchgeführte Arbeiten**

Für den Granit-Standort wurde während eines Besuches in Moskau und St. Petersburg noch weiteres Datenmaterial von den Partnern erhalten.

Die Datenakquisition und die Aufbereitung mit Hilfe eines GIS ist abgeschlossen worden; die Daten sind weitestgehend formatiert.

Ein für die Modellierungsarbeiten geeignetes Modellgebiet wurde ausgewiesen.

In Abhängigkeit von der Problemstellung und den Gebietscharakteristika ist ein für die hydrologische Modellierung geeignetes Rechenprogramm ausgewählt und implementiert worden.

Für den Porphyry-Standort wurde die Datenakquisition sowie die Aufbereitung mit Hilfe eines GIS begonnen.

Vom 04. bis 06. Oktober fand in Peine ein Arbeitstreffen mit den russischen Kollegen statt.

**4. Ergebnisse**

keine

**5. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

**6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

**7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<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> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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 nichtsalinaren 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

- (1) des Gebirges sowohl als Tragelement wie auch als geologische Barriere sowie
- (2) der geotechnischen Barrieren als Verbundkonstruktionen von umgebendem Gebirge und bautechnischen Abdichtungs-/Tragelementen

analysiert und prognostiziert werden können.

Es ist deswegen 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 erforderlich sind, um das ebenfalls vom Antragsteller entwickelte HM-Kopplungskonzept in ein THM-Kopplungskonzept zu erweitern bzw. zu verbessern.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Arbeitsprogramm ist entsprechend der gewählten Zielsetzung in Arbeitspakete mit folgenden Inhalten gegliedert:

- 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

- Beschaffung von Bohrkernmaterial aus folgenden Lagerstätten:
  - Tonstein/Tonmergelstein aus Konrad/Schacht 1/2 in Deutschland (BGR)
  - Opalinuston aus Mont Terri in der Schweiz (NAGRA)
  - Laufende Verhandlungen mit ANDRA über Tonstein aus Bure in Frankreich



- Design und Aufbau von Prüfständen für triaxiale Langzeitversuche mit Dilatanz- und Permeabilitätsmessung (*voraussichtlich einsatzfähig ab Mitte 2003*) sowie Nachrüstung bestehender Prüfanlagen zur Berücksichtigung von Porenwassereffekten (*einsatzfähig ab Anfang 2003*)
- TC-Testreihe mit Opalinuston aus Mont Terri (NAGRA) abgeschlossen, Ergebnisauswertung wird durchgeführt
- TCc-Testreihe mit Opalinuston aus Mont Terri (NAGRA) befindet sich in der Durchführungsphase
- Durchströmungsversuche mit Opalinuston aus Mont Terri (NAGRA) abgeschlossen, Ergebnisauswertung wird durchgeführt

Unter Nutzung bestehender Software wurde das vom Antragsteller im Rahmen der Schädigungsmechanik entwickelte Stoffmodell *Hou/Lux* mit den notwendigen Modifikationen auf Tongesteine übertragen und in ersten Berechnungen angewandt. Begleitend wurde das ebenfalls vom Antragsteller entwickelte HM-Kopplungskonzept zur Beschreibung der geomechanisch-geohydraulischen Wechselwirkungen im Tragwerk auf Tongestein übertragen. Parallel zu den laufenden mathematisch-analytischen Arbeiten zur Programmierung dieses Ansatzes in das FEM-Programmsystem MISES3 wurden anhand von in der Literatur gegebenen Randbedingungen und Messgrößen die notwendigen Eingabeparameter bestimmt. Um später in den Verifikationsberechnungen in MISES3 entsprechende graphische Auswertungen vornehmen zu können, wurden die programmtechnischen Möglichkeiten auf diesem Gebiet erweitert. Anhand der durchgeführten Berechnungen wurde erstmals die graphische Darstellung der Permeabilitätsänderung im Rahmen der hydromechanischen Kopplung durchgeführt.

Die Validierung des zu entwickelnden Stoffmodellansatzes für Tonstein soll durch die Nachrechnung von unter definierten, geometrischen und materialtechnischen Randbedingungen durchgeführten Versuchen an „Modelltragwerken“ erfolgen.

Aufbauend auf abgesicherten laborativen Erkenntnissen soll künftig herausgearbeitet werden, welche Erweiterungen und Korrekturen erforderlich sind, um repräsentative Ergebnisse für eine qualifizierte Vergleichsuntersuchung unter dem Aspekt der Betriebs- und Langzeitsicherheit für Endlager im Tongestein zu erhalten.

#### 4. Ergebnisse

- Testversuche an Vollprüfkörpern (Festigkeitsversuche, Kriechversuche) durchgeführt und teilweise ausgewertet
- Implementierung des Stoffmodellansatzes für Tonstein und HM-Kopplung in MISES3 ist weitgehend abgeschlossen und lauffähig, erste Berechnungen bereits durchgeführt, Auswertung und Verifikation anhand von weiteren Testberechnungen und labortechnischen Prüfergebnissen erforderlich

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Beschaffung von Tonstein aus Bure in Frankreich (ANDRA)
- Fertigstellung der geplanten Prüfstände für triaxiale Langzeitversuche mit Dilatanz- und Permeabilitätsmessung sowie Abschluss der Arbeiten zur Nachrüstung bestehender Prüfanlagen zur Berücksichtigung von Porenwassereffekten
- Ergebnisauswertung der TC-Testreihe mit Opalinuston aus Mont Terri, Planung und Durchführung weiterer Versuche entsprechend der Aufgabenstellung
- Abschluss und Auswertung der laufenden TCc-Testreihe mit Opalinuston aus Mont Terri, Planung und Durchführung weiterer Versuche entsprechend der Aufgabenstellung
- Ergebnisauswertung der Durchströmungsversuche mit Opalinuston aus Mont Terri, Planung und Durchführung weiterer Versuche entsprechend der Aufgabenstellung
- Erarbeitung numerischer Erfahrungen im Tonsteingebirge durch Testberechnungen zur Verifikation erfolgter Versuche sowie Nachrechnung in der Literatur angegebener Versuchsergebnisse

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9642</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Endlagerung in Großbohrlöchern		
<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> 01.07.2002 bis 31.12.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 221.141,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Krone	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gegenstand des Vorhabens sind Beiträge zu einem internationalen Gemeinschaftsprojekt bezüglich der Bewertung der Endlagersicherheit bei der Einlagerung radioaktiver Abfälle in Großbohrlöcher.

Die Mitarbeit der DBE TECHNOLOGY GmbH konzentriert sich dabei auf die Entwicklung von Abfallannahmekriterien sowie geeigneter Versatzmaterialien und Einlagerungstechniken.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen einer Vorstudie soll die Realisierbarkeit des Konzeptes nachgewiesen werden.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Abfallinventar und Abfallannahmekriterien

AP2: Technisches Barrierensystem – Versatzmaterialentwicklung

AP3: Einlagerungstechnik

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Zu AP1:

Es wurde eine Methodik erarbeitet an Hand derer VNIPI PT die vorläufigen Abfallannahmekriterien entwickeln kann.

Zu AP2:

Für die Durchführung von Laborversuchen für die Qualifizierung des Versatzmaterials wurden zwei Materialmischungen ausgewählt und das Versuchsprogramm erarbeitet.

Zu AP3:

Die Vorgaben für die Zusammenstellung der funktionellen Anforderungen wurde erarbeitet.

### **4. Ergebnisse**

Hinsichtlich der drei Arbeitspakete wurden jeweils die methodischen Grundlagen für die weitere Bearbeitung geschaffen.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Zu AP1:

Entwicklung vorläufiger Annahmekriterien und detaillierter Abfallcharakterisierung

Zu AP2:

Durchführung der Laborversuche und Erstellung eines Modells für die Barrierenwirksamkeit des Versatzmaterials.

Zu AP3:

Konzeptplanung des Einlagerungssystems mit dem Schwerpunkt der sicherheitsrelevanten Komponenten.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

- Project Inception Report, August 2002
- Progress Report No. 1 of September 30, 2002
- Progress Report No. 2 of December 17, 2002



## **2.2 C-Vorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> K+S Aktiengesellschaft, Friedrich-Ebert-Str. 160, 34111 Kassel		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0516</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Schachtverschlüsse für untertägige Deponien in Salzbergwerken -Forschungsvorhaben Schachtverschluss Salzdetfurth Schacht SA II-		
<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> 01.08.1996 bis 30.09.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 30.09.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 6.800.131,54 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr.-Ing. Breidung	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziele des Vorhabens sind die Entwicklung eines Grundkonzeptes, Bau und Test von Elementen für Schachtverschlussbauwerke nach der TA Abfall für Untertagedeponien (UTD's) im Salinar. Aufbauend auf diesem Konzept können künftige Schachtverschlüsse realisiert werden, die dann bei Gebirgsdruckeinwirkungen und hohen Belastungen durch saline Lösungen über längere Zeiträume hinweg stabil, dicht und wartungsfrei sind. Diese Schachtverschlussysteme müssen geeignet sein, den Ablagerungsbereich einer UTD hinreichend wirksam gegenüber der Biosphäre zu verschließen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### AP 1 Vorbereitung, Konzeptentwicklung und Projektabwicklung

- AS 1.1 Vorbereitung
- AS 1.2 Planung
- AS 1.3 Projektabwicklung

### AP 2 Bestandsaufnahme und Voruntersuchungen

- AS 2.1 Bestandsaufnahme Schächte SA I und SA II
- AS 2.2 Voruntersuchungen im Schacht SA II

### AP 3 Voruntersuchungen zur Schottersäule

- AP 3.1 Labor- und halbtechnische Versuche
- AP 3.2 Vorversuche Schottersäule SA I
- AP 3.3 Einbau und Überwachung der Schottersäule in SA II

### AP 4 Untersuchungen zum Dichtelement

- AP 4.1 Technikumsversuche Freiberg
- AP 4.2 Einbau und Überwachung des Dichtelementes im Bohrschacht

AP 5 Numerische Modelle

AS 5.1 Geotechnisches Modell

AS 5.2 Hydraulische Modellrechnung

AS 5.3 Langzeitsicherheitsbetrachtungen

**3. Durchgeführte Arbeiten**

Erstellen des Abschlussberichtes und Durchführung eines Workshops. Die Konvergenz- und Temperaturmessungen wurden bis zum Projektende fortgeführt.

**4. Ergebnisse**

AP3 Nachweis der Realisierbarkeit einer über lange Zeiträume setzungsstabilen Schottersäule mit Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Schächte im Salinar.

AP4 Nachweis eines langzeitstabilen und flüssigkeitsdichten Schachtverschlussbauwerkes mit Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf zukünftige Schachtverschlüsse im Salinar.

AP5 Gebirgsmechanische Berechnungen zur Verfüllsäule aus Schotter  
Gebirgsmechanische und hydraulische Berechnungen zur Langzeitsicherheit des Schachtverschlussbauwerkes

**5. Geplante Weiterarbeiten**

keine

**6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

**7. Berichte, Veröffentlichungen**

Dr. K.-P. Breidung, Verwahrung von Kali- und Steinsalzbergwerken einschließlich langzeit-sicherer Schachtabdichtungen, in Kali und Steinsalz 02/2002

Abschlussbericht – Kurzfassung, Forschungsprojekt Schachtverschluss Salzdettfurth Schacht SA II

Abschlussbericht – Langfassung, Forschungsprojekt Schachtverschluss Salzdettfurth Schacht SA II

Workshop Forschungsvorhaben Schachtverschluss Salzdettfurth am 24.09.2002 in Kassel

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-BAF, Akademiestr. 6, 09596 Freiberg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0547</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Grundkonzepts für langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke im Salinar -Bau und Test eines Versuchsverschlussbauwerkes unter realen Bedingungen-		
<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> 01.10.1997 bis 31.03.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 3.253.760,80 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Sitz	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Entwicklung eines Grundkonzeptes für den Bau langzeitstabiler, flüssigkeitsdichter und standsicherer Streckenverschlussbauwerke für UTD und andere für die untertägige Ablagerung von Abfällen genutzter Hohlräume im Salinar. Projektierung und Bau eines Versuchsverschlussbauwerkes unter typischen UTD-Bedingungen und experimenteller Nachweis zu Dichtheit, Lastabtrag, Beanspruchung, Sicherheitspotential und Versagensvorgang durch den In-situ-Versuch. Dadurch soll nachgewiesen werden, dass die erarbeitete Grundkonzeption für reale Gebirgsverhältnisse und UTD-Bedingungen gültig ist und somit nach diesem Grundkonzept langzeitsichere Streckenverschlussbauwerke zukünftig errichtet werden können. Durchführung in enger Abstimmung mit den Vorhaben „Strömungskennwerte in Auflockerungszonen“ (02 C 0527) und „Akustische Verfahren zur Detektion von Auflockerungszonen“ (02 C 0537).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Entwicklung des Grundkonzeptes
- AP 2: Labor- und Technikumsuntersuchungen zum Dichtsystem
- AP 3: Labor- und Technikumsuntersuchungen zum statischen Widerlager
- AP 4: Ausarbeitung eines Qualitätssicherungsprogramms für den Bau eines Streckenverschlussbauwerkes
- AP 5: Erarbeitung des Konzeptes für das Versuchsstreckenverschlussbauwerk; Anforderungen an das Versuchsprogramm
- AP 6: Bemessung des Versuchsverschlussbauwerkes, Festlegung des Messkonzeptes und der erforderlichen Instrumentierung
- AP 7: Streckenauffahrung und Bau des Versuchsverschlussbauwerkes
- AP 8: Versuchsdurchführung
- AP 9: Untersuchungen zur Grenzbelastung des Verschlussbauwerkes (Versagensfall)
- AP 10: Auswertung



### **3. Durchgeführte Arbeiten**

AP 9: Entfällt, da die Grenzbelastung des Widerlagers bereits erreicht wurde. Der Rückbau des Verschlussbauwerkes und die Nachuntersuchungen wurden beendet.

AP 10: Arbeiten am Abschlussbericht

### **4. Ergebnisse**

AP 10: Das Dichtelement I war bis zu einer Länge von 1,5 bis 1,6 m von der Druckseite her über den gesamten Querschnitt durchfeuchtet. Danach verlief die Durchfeuchtung in der Sohle (0,5 bis 1 m tief) und am rechten Stoß (ca. 0,5 m tief) über die gesamte Länge des Dichtelementes durchgehend. In der Firste und am linken Stoß verlief die Feuchtefront nur bis zu einer Länge von 4,0 bis 4,50 m. Ursachen der Umströmung des Dichtelementes waren Undichtheiten im zementierten Sohlenkanal (Führung von Rohrleitungen und Messkabeln) sowie die hohe Permeabilität der Gebirgskontur in der Firste ( $> 10^{-15} \text{ m}^2$  nach dem Rückbau gemessen). Die axiale Verschiebung des statischen Widerlagers und das Nachrücken des Dichtelementes führten zu einer Auflockerung des Dichtelementes. Durch diese Dichtereduzierung fiel der Quelldruck.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

AP 10: Fertigstellung des Abschlussberichtes

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0628</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Modellrechnungen zur großräumigen dichteabhängigen Grundwasserbewegung	
<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> 01.01.1999 bis 31.03.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.034.190,60 EUR	<b>Projektleiter:</b> Frau Dipl.-Math. Schneider

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Fertigstellung des in den Jahren 1995-1998 unter BMBF-Förderung entwickelten Programmpaketes d<sup>3</sup>f steht ein Werkzeug zur Verfügung, das es erlaubt, Grundwasserbewegungen unter Berücksichtigung der Salinität in großräumigen, hydrogeologisch komplexen Gebieten über lange Zeiträume zu berechnen.

Im Rahmen dieses Projektes wird das Programm mit allen enthaltenen Möglichkeiten der Modellierung und unter Ausschöpfung der Hard- und Softwaregrenzen umfassend erprobt. Damit soll das Vertrauen in die Modellierung von Dichteströmungen erhöht werden.

Bearbeitet werden Deckgebirge in der Umgebung von Salzformationen, Salzwasserintrusionen in Küstengebieten und Süßwasserlinsen unter Inseln.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist in folgende Arbeitsschritte unterteilt:

AS1: Deckgebirge über norddeutschen und ausländischen Salzstöcken

AS2: Ausländische Endlagerstandorte

AS3: Salzwasserintrusion in Küstengebieten, Brunnen in Küstengebieten

AS4: Süßwasserlinsen unter Inseln

AS5: Dokumentation

AS6: Wartung und Pflege des Programms d<sup>3</sup>f

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

AS1: Ein hydrogeologisches Modell des Deckgebirges über dem Salzstock Höfer wurde erarbeitet und ein Hexaedergitter generiert. Serielle Rechnungen mit 130 000 Knoten wurden durchgeführt.

AS4: Zu den neuen Modellen wurden serielle Rechnungen mit bis zu 200 000 Knoten durchgeführt.

Mit der Erstellung des Abschlussberichtes wurde begonnen.

### **4. Ergebnisse**

Entwicklung und Dokumentation des 3D-Tetraeder-Gittergenerators "ARTE" sind abgeschlossen.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Parallele Rechnungen werden durchgeführt.
- Der Abschlussbericht wird erstellt.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> IfG, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0649</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von UTD in Salzformationen der flachen Lagerung im Zusammenhang mit dem Verformungs- und Bruchverhalten -Phase III-		
<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 31.12.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 208.882,16 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Salzer	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel ist die Bereitstellung von Rechenmodellen und Kriterien für Aussagen zur Langzeitsicherheit der geologischen und technischen Barrieren, zum Einschluss des Einlagerungsgutes im Salzgebirge der flachen Lagerung sowie zur Bewertung von Störfallszenarien.

Das Vorhaben umfasst die Fortführung von geotechnischen In-situ-Messungen in einem Salzbergwerk der flachen Lagerung, die im Rahmen des Vorhabens 02 C 0062 begonnen wurden. Die Fortführung ist notwendig, um die für Langzeitsicherheitsbetrachtungen entscheidende stationäre Kriechphase zu erfassen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

An den 4 im Rahmen des Vorhabens 02 C 0062 eingerichteten Messkomplexen werden Wiederholungsmessungen zur Erfassung des Verformungsverhaltens und Spannungssondierungen durchgeführt. Die Messeinrichtungen sind zu kontrollieren und bei Erfordernis zu warten. Parallel dazu erfolgt die Auswertung der Messdaten und die Fortschreibung der für die Messkomplexe charakteristischen gebirgsmechanischen Strukturmodelle.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Die planmäßige Ablesung und Wartung der Verformungsmessstellen erfolgte im Berichtszeitraum an allen Messkomplexen.

### **4. Ergebnisse**

Mit Abschluss des Vorhabens wurde für eine breite Palette von Spannungs-Verformungszuständen, die für eine UTD / UTV in Salzformationen der flachen Lagerung charakteristisch sind, umfangreiche Messreihen ermittelt, die einen Zeitraum von ca. 10 Jahren erfassen.

Wie die durchgeführten Validierungsrechnungen insbesondere mit dem Funktionsmodell zeigen, ist für eine weitere Verbesserung der Übereinstimmung zwischen den berechneten und gemessenen Werten vor allem die Einbeziehung der Auflockerungsprozesse im Vorbruch- und teilweise auch im Nachbruchbereich in die Stoffgesetzformulierung erforderlich.

Die Spannungs- und Verformungsmessungen zeigen, dass mit Abschluss der Versuchsphase III auch am Messkomplex 2 die stationäre Kriechphase erreicht wurde.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Fertigstellung des Abschlussberichtes

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0669</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Hydraulische Kennwerte von tonhaltigen Mineralgemischen zum Verschluss von 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 31.03.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 943.058,17 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Miehe	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Abdichtsysteme haben die Aufgabe, Ablagerungskammern gegenüber dem Grubengebäude zu verschließen. Der Verschluss darf nicht zu dicht sein, da sonst die durch die mikrobielle Zersetzung organischer Bestandteile bedingte Gasbildung hohe Drücke in den Kammern aufbauen kann. Als geeignete Abdichtmaterialien werden Tone angesehen. Ein Zusatz von Mineralen, wie Sand oder Splitt kann zu größerer mechanischer Stabilität und zu einer Optimierung der Durchlässigkeit beitragen. In Laborversuchen soll eine Datenbasis für die hydraulischen Kennwerte von Tonmineralgemischen unter Zweiphasenflussbedingungen erstellt werden. Die Wechselwirkung ausgewählter Materialmischungen mit Wirtsgesteinen wird optional überprüft. Geochemische Untersuchungen sollen Aussagen über die chemisch-mineralogischen Wechselwirkung der Fluide mit den Dichtmaterialien liefern. Numerische Modellrechnungen werden für die Auswertung und Interpretation der Versuche vorgenommen. Eine vergleichende Bewertung von Modell- und Versuchsergebnissen ermöglicht die ggf. erforderliche Weiterentwicklung der Modelle.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Ermittlung hydraulischer Kennwerte von Ton-Sand-Gemischen.  
AS 1: Erweiterung der vorhandenen Datenbasis bezüglich hydraulischer Kennwerte von Ton-Sand-Gemischen in Abhängigkeit von der Wassersättigung.  
AS 2: Bereitstellung hydraulischer Kennwerte von Ton-Sand-Gemischen in Abhängigkeit von der Laugensättigung.  
AP 2: Orientierende Untersuchungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse des AP 1 auf Tongemische mit grobkörnigen Mineralbeimengungen.  
AP 3: Überprüfung der Wechselwirkung eines Ton-Mineral-Gemisches mit dem Wirtsgestein an einem Bohrkern. (Option)

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Qualitative Interpretation der Daten für Sand-Ton-Gemische.
- Beginn der Untersuchungen an grobkörnigen Mineral-Ton-Gemischen (Splitt-Ton) mit einem Mischungsverhältnis 75/25.

- Beendigung der Entsättigungsversuche an einer ersten großkalibrigen Steinsalzprobe gefüllt mit einer Sand-Ton-Mischung.
- Die Bestimmung der einphasigen Gas- und Laugenpermeabilitäten an einem großkalibrigen Prüfkörper aus Steinsalz, verfüllt mit vorkompaktierten Sand-Ton-Gemisch-Körpern mit dem Mischungsverhältnis 90/10.

#### **4. Ergebnisse**

- Die für die effektive Gaspermeabilität und den Kapillardruck an Sand-Ton-Mischungen ermittelten Daten deuten für den Fall der Aufsättigung mit Wasser einen für den Zweiphasenfluss typischen Verlauf an. Nach geeigneter Normierung fallen die Datenpunkte jeweils für die effektive Gaspermeabilität und für den Kapillardruck auch für verschiedene Mischungsverhältnisse in ein enges Band.
- Im Fall der Aufsättigung mit Lauge ist die effektive Gaspermeabilität offenbar unabhängig von der Sättigung; der Kapillardruck zeigt dagegen eine deutliche Abhängigkeit..
- Die Untersuchungen zum Einphasen- und Zweiphasenfluss werden an grobkörnigen Splitt-Ton-Mischungen mit einem Mischungsverhältnis von 75/25 vorgenommen. Die Versuche erfolgen mit Wasser und mit Q-Lauge (IP 21). Die Einbaudichten lagen im Mittel bei ca. 1,89 g/cm<sup>3</sup>. Die einphasigen Permeabilitäten ergaben sich im Mittel für Gas zu  $2,9 \cdot 10^{-13}$  m<sup>2</sup>, bei Wasser zu  $2,9 \cdot 10^{-17}$  m<sup>2</sup> und für Lauge zu  $6,8 \cdot 10^{-16}$  m<sup>2</sup>.
- Die Untersuchungen an mit einer Sand-Ton-Mischung gefüllten großen Steinsalzprobe lassen aufgrund der geringen Durchlässigkeit des Salzes den Schluss zu, dass die Durchlässigkeit hauptsächlich durch die eingebrachte Sand-Ton-Mischung bestimmt wird. Bei der qualitativen Betrachtung der Zweiphasenflusseigenschaften zeigte sich, dass auch bei einem simulierten System Gebirge/Dichtung das prinzipielle Zweiphasenflussverhalten auftritt, wobei auch hier offensichtlich das Sand-Ton-Gemisch den Verlauf maßgeblich bestimmt.
- Bei zwei weiteren Versuchen an großkalibrigen Kernen, die mit vorkompaktierten Sand-Ton-Körpern gefüllt wurden, konnte lediglich die einphasige Gaspermeabilität ermittelt werden, da es in beiden Fällen zu einem Riss des Jackets kam und die Proben mit Öl kontaminiert wurden. Aber auch hier zeigte sich, dass das Permeabilitätsverhalten hauptsächlich durch das Sand-Ton-Dichtungsmaterial bestimmt wird.

#### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Erweiterung der Datenbasis mit den Ergebnissen aus dem Zweiphasenfluss-Projekt.
- Ermittlung des am besten geeigneten Ansatzes für die Zustandsgleichungen des Zweiphasenflusses durch Bestimmung der entsprechenden Kurvenparameter.
- Abschluss und Auswertung der Versuche an den grobkörnigen Mineral-Ton-Gemischen.
- Erstellung des Abschlussberichts.

#### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

#### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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 31.12.2002		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.053.403,41 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**

- Berechnung der Auswirkung der Gasfreisetzung in einer idealisierten UTD auf den Schadstofftransport und die Stabilität des Grubengebäudes mit Hilfe des Rechenprogramms TOUGH2 (GRS Köln).
- Abschluss der Serienmessungen zur Gasfreisetzung. Fortsetzung von Versuchen zur Bestimmung des Einflusses der biologischen Aktivität auf die Gasentwicklung.

### **4. Ergebnisse**

Die Gasdruck- und Transportmodellierungen mit TOUGH2 haben gezeigt, dass unter bestimmten Randbedingungen (z.B. niedriger Permeabilität der Kammer und Schachtverschlüsse) ein Druckaufbau möglich ist, der die geomechanische Stabilität des Grubenbaus beeinträchtigen kann. Detaillierte Voraussagen sind jedoch nur unter Verwendung von standortspezifischen Daten möglich.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Entwicklung eines Verfahrens und Durchführung von Gasfreisetzungsversuchen im Großmaßstab.
- Untersuchung der Wärmeentwicklung bei Lösungszutritt zu chemisch-toxischen Abfällen.
- Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit von Abfall/Lösungsgemischen.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> IIF e.V., Permoserstr. 15, 04318 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0709</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen/anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle		
<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 31.12.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 383.468,91 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kupsch	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Geochemische Rückhaltebarrieren, insbesondere Deposite geogener/anthropogener Kohlenstoffverbindungen, können gegenüber Schwermetallen als Senke fungieren und bei geeigneten konstanten geochemischen Parametern (Eh, Ionenstärke, pH-Wert) langfristig stabil sein. Es soll die Bildung, die Reaktivität und die 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 Stabilität und Einfluss auf die Schwermetallsorption in Abhängigkeit von geochemischen Parametern untersucht. Ausgangspunkt für diese Experimente sind die von der GRS an verschiedenen Standorten durchgeführten Untersuchungen. Die wesentlichen Ergebnisse des Vorhabens werden aus innovativen Bewertungskonzepten und Erfahrungen bestehen, die in konkreten Anwendungsfällen in die Kalkulation der Kosten und der Umweltverträglichkeit des Entsorgungskonzeptes einfließen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Extraktion und Radiomarkierung geogener und anthropogener Kohlenstoffverbindungen
- Bestimmung der Sorptionskoeffizienten von toxischen Schwermetallen an Geomatrices
- Untersuchungen zur Bildung, Zusammensetzung und Stabilität von Oberflächendepositen
- Bestimmung der Sorptionskoeffizienten von Schwermetallen in Gegenwart geogener und anthropogener Kohlenstoffverbindungen an Modellmatrix und Geomatrices
- Identifizierung der Kohlenstoffverbindungen mittels radioaktiver Doppelmarkierung
- Aufklärung des Retentionsvermögens der reaktiven Kohlenstoffverbindungen
- Abschließende Auswertung, Dokumentation und Schlussberichterstellung

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Synthese und Weiterführung des Trennungsganges zur Gewinnung von trägerfreiem  $^{203}\text{Pb}$
- Konditionierung der Geomatrices Granit und Diabas in verschiedenen Siebfraktionen
- Adsorptionsstudien von  $^{131}\text{I}$ -markierter Huminsäure an den Geomatrices Granit und Diabas im Konzentrationsbereich von 0,04 – 40 mg/l Huminsäure im Vergleich zur Modellmatrix Seesand unter naturnahen Bedingungen

- Adsorptionsstudien von  $^{64}\text{Cu}$  und  $^{203}\text{Hg}$  an der Geomatrix Granit im Konzentrationsbereich  $1 \cdot 10^{-9}$  –  $1 \cdot 10^{-3}$  mol/l  $\text{Cu}^{2+}$  bzw.  $\text{Hg}^{2+}$  im Vergleich zur Modellmatrix Seesand unter naturnahen Bedingungen
- Radioaktive Doppelmarkierung von Huminsäuren mit  $^{131}\text{I}$  und  $^{203}\text{Pb}$
- Speziation von  $\text{Pb}^{2+}$  im ternären System Schwermetall/Huminsäure/Geomatrix mit der Methode der radioaktiven Doppelmarkierung mit  $^{131}\text{I}$  und  $^{203}\text{Pb}$

#### 4. Ergebnisse

Der kurzlebige Radiotracer  $^{203}\text{Pb}$  ( $T_{1/2} = 51,9$  h) wurde im Zyklotron der MHH durch die Kernreaktion  $^{nat}\text{Tl}(p,n)^{203}\text{Pb}$  hergestellt (ca. 37 MBq / 1,7 g Tl). Der Trennungsgang Tl/Pb wurde erfolgreich weitergeführt. Im Mainzer Kernreaktor wurden die kurzlebigen Isotope  $^{64}\text{Cu}$  ( $T_{1/2} = 12,7$  h) und  $^{203}\text{Hg}$  ( $T_{1/2} = 46,59$  d) durch Neutronenaktivierung hergestellt. Die Sorptionsstudien wurden mit  $\text{Cu}^{2+}$  und  $\text{Hg}^{2+}$  im Bereich von  $1 \cdot 10^{-9}$  –  $1 \cdot 10^{-3}$  mol/l  $\text{Cu}^{2+}$  bzw.  $\text{Hg}^{2+}$  in Abwesenheit von HS an den beiden Geomatrices Granit (pH 6,0) und Diabas (pH 7,8) im Batchexperiment fortgeführt. Die beiden Geomatrices zeigen eine 80 - 100mal stärkere Adsorption im Vergleich zur Modellmatrix Seesand (pH 5,0). Die  $^{131}\text{I}$ -markierte Huminsäure wurden nach der IODOGEN-Methode hergestellt. Die Sorptionsstudien wurden mit dieser Huminsäure an den Geomatrices Granit (pH 6,0) und Diabas (pH 7,8) bei Abwesenheit von Schwermetallen durchgeführt. Die Sorption ist an diesen Geomatrices im Vergleich zum Seesand (pH 4, 5 und 6) ca. zehnfach erhöht, bedingt durch die höhere spezifische Oberfläche. Durch die Verwendung des Radiotracers waren Messungen hinunter bis 40  $\mu\text{g/l}$  Huminsäure möglich, ein Bereich der mit den klassischen Methoden (DOC, UV) nicht zugänglich ist. Mit der Methode der radioaktiven Doppelmarkierung von Huminsäure mit  $^{131}\text{I}$  (kovalent) und  $^{203}\text{Pb}$  (komplexiert) wurde eine Schwermetallspeziation im ternären System Schwermetall/Huminsäure/Granit unter naturnahen Bedingungen im Batchexperiment durchgeführt. Das Blei ist über den Konzentrationsbereich von  $1 \cdot 10^{-9}$  –  $2 \cdot 10^{-5}$  mol/l  $\text{Pb}^{2+}$  und konstanter HS-Konzentration von 10 mg/l zu 95 % am Granit (pH 6,0) gebunden. In der wässrigen Phase verteilen sich die übrigen 5 % des Bleis etwa 1:1 auf  $[\text{Pb}^{2+}]_{\text{aq}}$  und  $[\text{Pb-Humat}]_{\text{aq}}$ . Die Huminsäuresorption ist unabhängig von der Pb-Konzentration und beträgt ca. 88 % vom Gesamtgehalt. Bei höheren Pb-Konzentrationen flockte das Pb-Humat aus.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Abschließende Auswertung, Dokumentation und Schlussberichterstellung

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

- A. Mansel, H. Kupsch: „Influence of Geochemical Parameters on the Mobility of Metal-Humate Complexes.“, 9<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Radiochemical Analysis ERA 2002, 17.9. – 20.9.2002, Maidstone, Kent, United Kingdom
- A. Mansel, H. Kupsch: „Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen / anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle.“, Abschlussbericht, BMBF Projekt Nr.: 02 C 0709, Januar 2003, in Vorbereitung

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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 30.06.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 895.131,99 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 Technikummaßstab hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit als langfristig wirksame Speicherminerale experimentell überprüft.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Ableitung einer abgesicherten Datenbasis für salinare 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 Technikummaßstab: 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

Abschluss ramanspektroskopischer Untersuchungen zur Chlorokomplexbildung von Zink in Lösungen der Salze  $MgCl_2$ ,  $NaCl$  und  $KCl$ . (Unterauftrag Dr. Rudolph, Dresden). Fortsetzung ramanspektroskopischer Untersuchungen zur Chlorokomplexbildung von Cadmium. Abschluss isopiesticer Untersuchungen an cadmium- und zinkhaltigen Lösungen (Unterauftrag Dr. Rumjancev, St. Petersburg):  $CdSO_4-NaCl-H_2O$ ,  $CdSO_4-KCl-H_2O$ ,  $ZnSO_4-NaCl-H_2O$ ,  $ZnSO_4-KCl-H_2O$ ,  $CdSO_4-MgCl_2-H_2O$ ,  $ZnSO_4-MgCl_2-H_2O$  und  $ZnCl_2-ZnSO_4-H_2O$  sowie  $CdCl_2-CdSO_4-H_2O$ . Fortführung der kritischen Kompilation von Daten zur Chemie von Zink, Blei und Cadmium in basischen Lösungen. Fortführung von Versuchen zur Löslichkeit von Blei, Zink und Cadmium in basischen Lösungen.

### 4. Ergebnisse

Die ramanspektroskopischen Untersuchungen zeigen mindestens drei identifizierbare und voraussichtlich auch quantifizierbare Spezies bei steigenden Chloridkonzentrationen. Eine Zuordnung zu spezifischen Zusammensetzungen (Chlor/Cadmiumverhältnissen) wird im Zuge der faktoranalytischen Spektrentrennung erfolgen.

Die isopiesticen Versuche ergaben ein vollständiges Bild der Wasseraktivitäten in den untersuchten Systemen. Von besonderem Interesse ist dabei das System  $CaCl_2-ZnCl_2$ , das bislang nur theoretisch vermutete S-förmig verlaufende Isoaktivitätslinien zeigt.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Abschließende ramanspektroskopische Untersuchungen zur Chlorokomplexbildung von Cadmium. Faktoranalytische Trennung der Ramanspektren zur Ermittlung der Speziationsverteilung von Zink und Cadmium in chloridhaltigen Lösungen. Fortsetzung der Untersuchung der Löslichkeit schwerlöslicher basischer Zink-, Cadmium- und Bleiverbindungen. Untersuchung der Rückhaltung von Blei Zink und Cadmium im halbtechnischen Maßstab.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

HAGEMANN S. (2002) A revised thermodynamic model for the prediction of lead(II) speciation and solubility in natural brines at 298.15 K. 10<sup>th</sup> International Symposium on Solubility Phenomena, St. Constantine Resort, Varna, Bulgaria 2002. Abstract Book. S. 54.

<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 30.09.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 528.955,99 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Lux	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Teilaufbau des Modellprüfstandes: Installation und Prüfung des Messprogramms, erste Testversuche, Dichtheitsprüfung, Beendigung des Aufbaus des Prüfstandes
- Literaturstudium zu Stoffmodellen mit Schädigungs- und Verheilungsansätzen: besondere Berücksichtigung der Ermittlung von Stoffparametern und deren Ableitung aus Versuchsdaten
- Ausarbeitung des Versuchsprogramms zur Durchführung der zur Ermittlung der Stoffparameter erforderlichen Versuche, Programmierung standardisierter Formblätter für die Auswertung
- Implementierung und Anwendung erweiterter Möglichkeiten zur Auswertung und Darstellung von Damage, Dilatanz und der Permeabilitätsänderung im Rahmen einer hydromechanisch gekoppelten Berechnung im Berechnungsprogramm Mises3 unter Windows

Die Implementierung des Verheilungsansatzes erfolgte in der UNIX-Version 9 und in der Windows-Version 12 von MISES3. Diese Arbeiten sind weitgehend abgeschlossen.

In den Verifikationsberechnungen in MISES3 kann nun die Permeabilität und die Permeabilitätsänderung grafisch dargestellt werden. Die erforderlichen Kennwerte werden durch Auswertung der Versuchsergebnisse mit Hilfe programmierter Formblätter ermittelt. Neben der im Rahmen der Schädigungsmechanik bereits standardisierten Messung der Volumendilatanz sind für die messtechnische Quantifizierung der Verheilung versuchsbegleitende Ultraschall- und Permeabilitätsmessungen erforderlich.

Die Validierung des Stoffmodellansatzes zur Verheilung soll durch die Nachrechnung von unter definierten geometrischen, kräftemäßigen und materialtechnischen Randbedingungen durchgeführten Versuchen an „Modelltragwerken“ erfolgen. Als Modelltragwerke sind axialgelochte Großbohrkerne vorgesehen. Der Aufbau der Prüfanlagen ist weitgehend abgeschlossen, der Testbetrieb läuft..

### 4. Ergebnisse

- Stoffmodellansatz Verheilung mit Implementierung MISES3 unter Windows ist weitgehend bis auf Optimierungsarbeiten und Implementierung seitens des Softwareherstellers abgeschlossen. Der Verheilungsansatz kann nach Abschluss der noch ausstehenden Optimierungen innerhalb des kommenden Berichtszeitraumes zur Verfügung stehen.
- Auswertung der Testversuche und Inbetriebnahme der Versuchsprüfstände.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung von Laborversuchen an Vollprüfkörpern zur Quantifizierung der Verheilung
- Erste Testberechnungen des um den Verheilungsansatz erweiterten Programmpakets MISES3 unter Windows mit Vergleichsmöglichkeit vorhandener Berechnungen unter MISES für Unix.
- Testberechnungen zur Verifikation anhand durchgeführter Versuche und Nachrechnung bekannter Versuche aus der Literatur.
- Anwendung des Verheilungsansatzes auf ausgewählte Fragestellungen

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99404 Weimar		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 0800</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung		
<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 31.01.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 587.094,93 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr.-Ing. Kupfer	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Messung der Feuchteverteilung in geotechnischen Barrieren von Untertagedeponien ist zur Bewertung des statischen Zustandes, für nicht bestimmungsgemäße Entwicklung von Lösungszutritten, aber auch zur Datenerfassung für Langzeitsicherheitsanalysen erforderlich. Das Vorhaben hat die Entwicklung eines dielektrischen Messsystems zur Feuchtebestimmung in Bentonit-Abschlussbauwerken zum Ziel. Es erfolgen Untersuchungen der dielektrischen Eigenschaften von Bentonit, Modellberechnungen zur Messmethode, Konzeption und Entwicklung der Messsysteme für Zeit- und Frequenzbereich, Versuche zur Detektion von Feuchtefronten in Bentonit unter dem Einfluss von Druck, Wasser und salinärer Umgebung sowie der Test der Sensoren in halbtechnischen, realitätsnahen Versuchen. Mit Feldsimulationen und Prognosemodellen sollen Aussagen zum Langzeitverhalten unterstützt werden. Mit dem Messverfahren soll die Dichtheit von Abschlussbauwerken kontrolliert oder das Fortschreiten von Feuchtefronten signalisiert werden. Der Einsatz kann auch als implantierte Sensoren im Bauwesen erfolgen. Neue Entwicklungen sollen als Patente eingereicht und über Lizenzverträge interessierten Unternehmen zur Verfügung stehen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Konzeption der Messsysteme für Zeit- und Frequenzbereich, Versuchsplanung
- AP2: Materialuntersuchungen von verschiedenen Bentonitmaterialien unter Laborbedingungen
- AP3: Modellberechnungen zur Entwicklung einer Messmethode
- AP4: Entwicklung eines TDR-Messsystems
- AP5: Messungen im Frequenzbereich
- AP6: Detektion von Feuchtefronten
- AP7: Test der Kabelsensoren in halbtechnischen Versuchen unter realitätsnahen Bedingungen
- AP8: Prognosemodell (für Feuchteausbreitung im Dichtelement)

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- AP3: Vergleich der Ergebnisse der TDR-Simulationen, die mit der Software HFSS (High Frequency Structure Simulator) berechnet wurden, mit den gemessenen TDR-Signalen bei der Kalibrierung der Kabelsensoren an Bentonit-Sand-Gemischen.
- AP5: Kalibrierung des TDR-Kabelsensors an Bentonit-Sand-Gemischen mit unterschiedlichen Wassergehalten und Dichten und Messungen der dielektrischen Eigenschaften von Bentonitproben aus Sondershausen mit Mikrowellenoberflächenresonatoren und deren Zuordnung zu den gravimetrisch bestimmten Feuchte- und Dichtewerten der Proben.
- AP6: Detektion der Ausbreitung einer Feuchtefront unter Druckeinflüssen längs der TDR-Messleitung im binären Gemisch aus Calcigelpresslingen und -granulat im Bentonithochdruckversuchsstand der MFPA Weimar über einen Zeitraum von 8 Monaten. Kalibrierung der TDR-Messleitung an Calcigel-Sand-Gemischen mit unterschiedlichen Wassergehalten und Dichten.



- AP7: Durchführung der halbtechnischen Versuche in der 800-mm-Apparatur in Freiberg mit binärem Gemisch und Wasser bzw. NaCl-Lauge als Fluid sowie in einer 300-mm-Apparatur mit binärem Gemisch und Wasser (Wasserdruck maximal 100 bar).
- AP8: Aufsättigungsmodellierung im Bentonit zur Identifikation des Granulates im binären Gemisch als strömungsbestimmende Matrix und Entwicklung von Modellkonzepten zur Berücksichtigung von Mehrphasenströmung und Quellung.

#### **4. Ergebnisse**

- AP3: HFSS-Simulation und Kalibriermessungen zeigen gute Übereinstimmungen.
- AP5: Die Messergebnisse der Oberflächenresonatoren in Verbindung mit den gemessenen dielektrischen Eigenschaften der Bentonitproben zeigen, dass aufgrund der hohen Ionenleitfähigkeit Oberflächenresonatoren mit 2,45-GHz-Resonanzfrequenz für ein Vor-Ort-Messsystem zur Bestimmung der Feuchte geeignet sind.
- AP6: Die Ausbreitung der vordringenden Feuchtefront im binären Gemisch durch sukzessive Erhöhung des Wasserdruckes auf 40 bar konnte sowohl visuell als auch mit dem Kabelsensor messtechnisch erfasst und unter den Bedingungen der Änderungen von Quelldruck und zusätzlichen hydrostatischen Druck bestimmt werden. Zur quantifizierten Bestimmung des Wassergehaltes im durchfeuchteten Teil des binären Gemisches werden aus dem TDR-Messsignal Impulslaufzeit und Anstieg der Impulsantwort extrahiert und als unabhängige Kalibriermessgrößen benutzt.
- AP7: Aus dem TDR-Messsignal kann der Verlauf der Feuchtefront im Bentonitdichtelement orts aufgelöst detektiert werden. Nach Rückbau der Versuche mit einer gleichzeitigen gravimetrischen Wassergehaltsbestimmung längs des Kabelsensors wurden die TDR-Messergebnisse bestätigt. Eine Wasserleitfähigkeit bzw. Leckage am Kabelsensor war nicht feststellbar.
- AP8: Die Sensitivitätsanalyse identifiziert folgende dominierende Parameter: Haftwassersättigung, Kapillardruck-Sättigungsfunktion, absolute Permeabilität, absolute Permeabilität in Abhängigkeit vom Quellen, effektive Porosität, empirische Funktion zur Beschreibung der relativen Permeabilität. Eine Prognosesimulation hinsichtlich der Sättigungsverteilung im Gesamtvolumen ergibt gute Übereinstimmung mit dem Versuch in der 800-mm-Apparatur mit Binärem Gemisch und NaCl-Fluid.

#### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- AP5: Kalibrierung der Oberflächensensoren und Konzeption eines Vor-Ort-Messsystems zur Bestimmung der Feuchte in Bentonitmaterialien.
- AP6: Detektion von Feuchtefronten und Feuchtebestimmung unter dem Einfluss von hochkonzentrierter NaCl-Lösung im Bentonit-Hochdruckversuchsstand mit binärem Calcigelgemisch und MX-80. Kalibrierung der Kabelsensoren an Calcigel- bzw. MX-80-Sand-Gemischen unter Berücksichtigung von Temperaturänderungen. Untersuchungen zum Einfluss von Störgrößen in der Grenzschicht Kabelsensor-Bentonit auf das TDR-Signal.
- AP7: Weiterführung der halbtechnischen Versuche in den 300-mm- und 800-mm-Apparaturen mit MX-80-Granulat sowie mit Calcigel- und MX-80-Formsteinen.
- AP8: Prognoserechnungen für weitere Versuche sowie Kalibrierung des Modells an den gemessenen Wassergehalten (nach Rückbau der Versuche) und an den Ergebnissen der Kabelsensormessungen.

#### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

#### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

Kupfer, K., Trinks, E., Schäfer, Th., Keiner, Th.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Detektion von Feuchteprofilen mittels TDR-Messleitung. Beitragsband 11. Feuchtetag 2002 in Weimar, MFPA Weimar, 2002.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (FZK), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0810</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung		
<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 31.10.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 151.546,40 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Brandelik	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Messung der Feuchteverteilung in Barrieren von Untertagedeponien ist für den statischen Zustand, für nicht bestimmungsgemäße Entwicklung von Lösungszutritten aber auch zur Datenerfassung für Langzeitanalysen erforderlich. Das Projektziel ist die Entwicklung eines dielektrischen Feuchtemesssystems. Eigenschaften des Bentonits werden ermittelt, Modellrechnungen der Messmethode aufgestellt (im Zeit- und Frequenzbereich), Versuche zur Detektion der Feuchtefronten in Bentonit aufgebaut. Der Einsatz der entwickelten Sensoren soll in halbtechnischen, realitätsnahen Versuchen getestet werden.

Das Vorhaben wird in Kooperation und in enger Abstimmung mit den Arbeiten der MFPA Weimar im BMBF-geförderten FuE-Vorhaben mit dem Förderkennzeichen 02 C 0800 ausgeführt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Vorhaben 02 C 0800 und 02 C 0810 umfassen folgende Arbeitsprogramme:

- AP 1: Konzeption von Messsystemen für Zeit- und Frequenzbereich, Versuchsplanung
- AP 2: Materialuntersuchungen von verschiedenen Bentonitmaterialien unter Laborbedingungen
- AP 3: Modellberechnungen zur Entwicklung einer Messmethode
- AP 4: Entwicklung eines TDR-Messsystems
- AP 5: Messungen im Frequenzbereich
- AP 6: Detektion von Feuchtefronten
- AP 7: Test der Kabelsensoren in halbtechnischen Versuchen
- AP 8: Prognosemodell für Feuchteausbreitung im Dichtelement

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Der im letzten Berichtszeitraum begonnene halbtechnische Versuch (Salzlösung 250 g NaCl pro 11 Wasser) zur Detektion von Feuchtefronten (AP6) und zum Test der Kabelsensoren (AP7) in dem Druckbehälter von 0,8 m Durchmesser und 1,8 m Höhe in Zusammenarbeit mit der Bergakademie Freiberg wurde weitergeführt und der Druck stufenweise bis ca. 70 bar erhöht. Danach stand die Anlage von Anfang August 2002 bis Mitte November drucklos. Anschließend wurde der Druck langsam wieder bis 20 bar erhöht. Anfang Dezember wurde der Versuch abgebaut und dabei der Materialzustand dokumentiert.

#### 4. Ergebnisse

Im Gegensatz zum ersten halbtechnischen Versuch sind die Bentonit-Schichten homogener und höher verdichtet (ca. 1,65 bis 1,7 g/cm<sup>3</sup>). Aus den TDR-Messungen ist zu ersehen, dass mit zunehmendem Druck das Wasser sukzessive bis etwa zum oberen Drittel der mittleren Bentonitschicht angestiegen ist und zwar gleichmäßig über die gesamte Fläche. Bei etwa 40 bar steigt die eingebrachte Wassermenge stärker an als vorher, die TDR-Messung zeigt eine starke Änderung in der unteren Sandschicht gegenüber den vorangegangenen Daten. Dies kann interpretiert werden als das Volllaufen der unteren Sandschicht, wobei sich das Wasser homogen über die gesamte Fläche verteilt. Beim weiteren Erhöhen des Drucks steigt das Wasser nur langsam an und bleibt dann bis zu Drücken von 70 bar nahezu konstant. Aus den TDR-Daten kann kein Durchbruch entlang der Kabel festgestellt werden, nur im oberen Dichtelement zeigt sich eine zunehmende Verdichtung des Materials mit dem Druck. Beim Ausbau erschien das Element um 5 cm kürzer und bestätigte die Ergebnisse der TDR-Messung. Des Weiteren war das Material bis in das obere Drittel der mittleren Dichtschicht trocken, um dann sehr schnell in einen feuchten Zustand über zu gehen. Alle Sensorkabel erkennen den Feuchteübergang in etwa der gleichen Höhe, es existieren keine einzelnen Feuchtefinger oder Durchbrüche. Dichteunterschiede im Material führen nur zu kleinen Variationen in der Position der Feuchtefronten.

Die Auswertung der Bodenproben zeigen ebenfalls eine homogene Verteilung der Feuchte in verschiedenen Ebenen. Der Übergang zwischen trocken (ca. 10 % Wassergehalt gravimetrisch) und feucht (ca. 32 % Wassergehalt grav.) erfolgt in der mittleren Schicht innerhalb von etwa 20 cm, der weitere Anstieg auf ca. 45 % Wassergehalt grav. verteilt sich über die folgenden 50 cm.

Bei der Wiederaufnahme der Druckversuche nach der Stillstandzeit zeigte sich, dass einige Sensorkabel am Übergang feucht-trocken gerissen sind. Offenbar ist durch die Komprimierung im oberen Bereich und der nachfolgenden Entspannung der feuchte Teil nach unten gegliedert und es hat sich ein breiter Riss entlang der trockenen Zone gebildet. Durch die hohen Haltekraft am Kabel wurde dieser Bereich stark gedehnt und die Kabel zerstört. Ein solcher Vorgang (druckloser Zustand über mehr als drei Monate) wird im Normalbetrieb nicht auftreten. Kleinere mechanische Belastungen werden über die Elastizität der Kabel aufgefangen.

Damit ist die Anwendung des TDR-Messsystems für die Überwachung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung nachgewiesen. Bei entsprechender Bauweise ist eine Wasserwegigkeit entlang der Kabel nicht gegeben. Die Ortsauflösung beträgt mit dem TDR-Verfahren besser als 5 cm.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

Mit dem Abschluss des AP7 sollen die Ergebnisse mit denen von Kupfer/Weimar (02C0800) zu einem Abschlussbericht zusammengeführt werden.

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

Die Patentanmeldung Nr: 10149972.8, *Verschlussstopfen und Verfahren zum Verschließen von untertägigen Hohlräumen*, das Bezug zum FuE-Vorhaben hat, wurde erteilt.

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-BAF, Akademiestr. 6, 09596 Freiberg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0820</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Zeitliche Veränderungen der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften		
<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> 01.01.2001 bis 31.03.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 403.335,04 EUR		<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Häfner

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat als Ziele:

- Die Bestimmung der Ausdehnung von Schutzschichten um mit Gas beladene Hohlräume.
- Die Bestimmung der Permeabilität und Porosität in der Schutzschicht und außerhalb dieser, sowie die Bestimmung des Porenraumdruckes im Salzgestein und des Gasgehaltes des Salzgesteins.
- Bestimmung des Spannungszustandes in den Bereichen der Versuchsbohrungen sowie die Bestimmung der geomechanischen Eigenschaften des Sylvinites, um den Einfluss des Spannungszustandes auf die Strömungskennwerte zu erkennen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1 Festlegung der Versuchsbedingungen, der Versuchsorte und Prüfmedien
- AP 2 Versuchs- und Messtechnik
- AP 3 Theoretische Modelle
- AP 4 Durchführung der Messungen
- AP 5 Ergebnisanalyse, Endauswertung
- AP 6 Berichte

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Untersuchungsprogramm entsprechend AP 1 – 7:
- Begleitende Durchführung von In-situ-Messungen zur Ermittlung des veränderlichen K<sub>2</sub>O-Gehaltes des Salzes in Testbohrungen.
- Durchführung von Interferenzmessungen in zwei Bohrungen
- Bestimmung der Permeabilität des Salzgestein in Abhängigkeit vom Abstand zum Stoß.
- Weitere Versuche im Steinsalz und Sylvinit mit Stickstoff als Prüfmedium und bei Zufluss von natürlich gesättigtem CO<sub>2</sub>.

- Durchführung von Spannungssondierungen mit der Schlitzmethode zur Bestimmung gebirgsmechanischer Eigenschaften des Sylvenits.
- Auswertung der Untersuchungen im Labor und der Spannungssondierungen mit der Schlitzsonde.
- Laborversuche zur Permeabilität und Relaxation an Sylvenit-Bohrkernen.
- Interpretation von In-situ-Messungen mit zeitabhängiger Permeabilität im Packerbereich der Testausrüstung.

#### **4. Ergebnisse**

- Die ermittelten Messwerte zeigen, dass die Permeabilität im Steinsalz in 2m Entfernung vom Stoß und bei Sylvenit in ca.5m Entfernung für praktische Verhältnisse Null ist.
- Permeabilitätsmessungen zeigen, dass die Permeabilität in der Auflockerungszone um die Bohrung im Packerbereich infolge des Packerdruckes fallweise zeitabhängig ist.
- Eine Langzeitmessung im Steinsalz zeigte bei mehr als 5 m Entfernung vom Stoß nach mehreren Monaten Messzeit keinen Druckabfall, sodass eine Permeabilität  $< 1 \cdot 10^{-25} \text{ m}^2$  identifiziert werden konnte. Eine solch geringe Permeabilität ist nach Kenntnis der internationalen Literatur bisher nicht identifiziert worden.
- Packerteste nach dem Teufen von Bohrungen (Durchmesser 42 mm) zeigten nach längeren Messzeiten CO<sub>2</sub>-Zuflüsse. Das Auftreten dieses CO<sub>2</sub>-Zuflusses korreliert mit dem K<sub>2</sub>O-Gehalt des Salzgesteins.
- Die mit Labormessungen und mit der Schlitzsonde gemessenen Beträge und Richtungen der Hauptspannungen sind typisch für Konturbereiche im Salinargestein. Eine CO<sub>2</sub>-Belastung des Salzgesteins verursacht jedoch erhöhte Messwertstreuungen.

#### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Beendigung der In-situ-Messungen zur Ermittlung der In-situ-Permeabilität, der Interferenzmessungen und der Fracuntersuchungen in Testbohrungen.
- Abschluss der In-situ-Messungen zur Ermittlung des veränderlichen K<sub>2</sub>O-Gehaltes des Salzes in Testbohrungen.
- Auflösung der untertägigen Messstandorte.
- Abschließende Interpretation der durchgeführten In-situ-Messungen in Kombination mit gesteinsmechanischen Laboruntersuchungen und Spannungssondierungen mit der Schlitzsonde.
- Erstellung des Abschlussberichtes zum Forschungsvorhaben.

#### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

#### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

„Bestimmung geringer Durchlässigkeiten im Gebirge“, Bergbau: Zeitschrift für Rohstoffgewinnung, Energie, Umwelt, 53. Jahrg., 537-539, Dez. 2002.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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 31.03.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.278.904,58 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

In situ wurden zwei 15-m-lange nicht instrumentierte Großbohrlöcher (Durchmesser 50 cm) mit verschiedenen Mischungen besetzt. Mit der Injektion von NaCl- bzw. MgCl<sub>2</sub>-gesättigter Lauge wurde begonnen. Ein drittes Großbohrloch wurde instrumentiert. An dem ausreagierten Material der vorangegangenen Handhabungsversuche wurden Festigkeitsuntersuchungen durchgeführt. In Laborexperimenten wurde die Abhängigkeit des Kristallisationsdruckes von der Vorverdichtung ermittelt.

### 4. Ergebnisse

Als Versatz wurden Magnesiumsulfat (wasserfrei) allein und gemischt mit Kaliumchlorid im Blasversatz als lockere Schüttung in die 5° geneigten Bohrlöcher eingebracht. Nach der Massenbilanz lag die Porosität im Bereich von 50-55 %. Bei Injektion von MgCl<sub>2</sub>-Lösung entwickelte sich in dem mit reinem MgSO<sub>4</sub> besetzten Bohrloch eine erste Dichtwirkung nach drei Monaten. Der Fluiddruck stieg zu diesem Zeitpunkt auf 1 MPa. In dem zweiten System (MgSO<sub>4</sub> mit KCl und NaCl-Lösung) lag der Fluiddruck bei 0,5 MPa. Typisch für den Abdichtungsprozess ist der Wechsel zwischen kurzzeitigen Druckerhöhungen und spontanen Druckabfällen bei einem langfristigen Druckanstieg. Generell setzt die zeitliche Entwicklung einer Abdichtung gegenüber den Laborversuchen verzögert ein. Die Ursache für diesen upscaling-Effekt wird in der Tatsache gesehen, dass die Verfestigung des Versatzes zunächst axial ohne radiale Verankerung zum Gebirge erfolgt.

Das auskristallisierte Stopfenmaterial aus den vorangegangenen Handhabungsversuchen weist deutliche Unterschiede im Gefüge sowie bevorzugte axiale Wegsamkeiten innerhalb der Stopfenbereiche auf. Mit Werten von 30 bis 40 MPa fallen die Druckfestigkeiten des lösungsfreien Stopfenmaterials ca. 20 bis 30% niedriger als die Werte der bisherigen Laborproben aus.

Die in Kaskadenversuchen ermittelten Kristallisationsdrücke an Proben mit einer Ausgangsporosität von 25% und 45% (lockerer Versatz) lagen unter 4 MPa bzw. 6 MPa. Die Unterschiede weisen auf eine direkte Abhängigkeit des Kristallisationsdruckes von der zur Verfügung stehenden Lösungsmenge hin, die mit höheren Ausgangsporositäten zunimmt.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der upscaling-Versuche in Großbohrlöchern
- Laborversuche mit der Ermittlung mechanischer Kennwerte
- EQ 3/6-Modellierung der Festphasenbildungen

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Sander, W. (2002): Ein neues Verfahren zum Verschluss von Entsorgungsbergwerken im Salz – Tagungsband des 2. Altbergbaukolloquiums, 7. bis 9. November 2002 in der TU Clausthal, 372-388

<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 31.12.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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**

- Im Werk Zielitz der K+S wurden etwa 250 m Kerne aus dem Z2 vom Kaliflöz Staßfurt (z2SF) bis zum Hauptanhydrit (z2HA) durch das gesamte Hauptsalz (z2HS) erbohrt (flache Lagerung).
- Während der Beprobung wurden etwa 200 Proben a 15 cm Länge in speziell gefertigte gasdichte Behältnisse eingeschweißt.
- Der Bohrkern wurde makroskopisch aufgenommen und dokumentiert.
- Ein Teil der Gase auf den Korngrenzen wurde isotopisch mit dem GC-irMS analysiert.
- Ein Teil der Proben wurde auf Einschlüsse untersucht und, soweit vorhanden, analysiert.
- Ein erstes Übersichtsprofil für Br im Halit wurde erstellt.

### **4. Ergebnisse**

keine

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Weiterführung der analytischen Arbeiten am ersten Bohrkern.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Leonrodstraße 54, 80603 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0851</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geosonar- und Ultraschallverfahren		
<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 30.06.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 435.740,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kühnicke	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die untertägige Erkundung der geologischen Barrieren, insbesondere die Detektion von Klüftzonen, Laugentaschen, Feuchtezonen und Schichtgrenzen sowie ihre möglichst genaue Vermessung und Bewertung sind wichtige Voraussetzungen für detaillierte Planungen und qualifizierte Langzeitsicherheitsnachweise von Endlagern und Untertagedeponien.

Die Aussagekraft der Geosonar- und Ultraschallverfahren wird durch Weiterentwicklung der Sende-Empfangswandler und der Bewertungsalgorithmen gesteigert. Gleichzeitig soll die praktische Anwendung der Verfahren durch verbesserte Ankopplungsmechanismen und Handhabungsempfehlungen gesichert werden.

Eine intensivere Kopplung der Geosonar- und Ultraschallverfahren mit elektromagnetischen, elektrischen und seismischen Verfahren sowie Bildverarbeitungstechniken soll zu einer neuen Qualität des geophysikalischen Instrumentariums bei der nichtinvasiven Erkennung und Bewertung von Problemzonen im Bereich geologischer Barrieren von Endlagern und Untertagedeponien führen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Arbeitspunkt 1:* Auswahl und Charakterisierung von Referenzmessorten
- Arbeitspunkt 2:* Optimierung der Sende-Empfangseinrichtung
- Arbeitspunkt 3:* Messkampagnen in Salzbergwerken
- Arbeitspunkt 4:* Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter im Labor und in-situ
- Arbeitspunkt 5:* Modellierung der Sende- und Empfangsprüfköpfe
- Arbeitspunkt 6:* Weiterentwicklung der Rekonstruktionsverfahren
- Arbeitspunkt 7:* Auswertung des Datenmaterials, Datenfusion
- Arbeitspunkt 8:* Abschlussbericht und Handlungsempfehlungen

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Arbeitspunkt 1:* Diskussion weiterer Referenzmessorte zusätzlich zur 480 m-Sohle in der Grube Sigmundshall.
- Arbeitspunkt 2:* Es erfolgten umfangreiche Labormessungen zur Optimierung der Messkonfiguration mit variierten Signalformen, Frequenzen, Ankopplungsarten und Messgeometrien. In die Hard- und Software des Messsystems AeSys wurde ein interner Signalgenerator für 4 unabhängige Sendekanäle integriert. Die Zahl der Empfangskanäle und der Sensoren mit ebener Ankoppelfläche wurde von 8 auf 16 erhöht, um mit größeren Auslagen messen zu können.
- Arbeitspunkt 3-4:* Der im Berichtszeitraum geplante zweite Messeinsatz am Referenzmessort im Werk Sigmundshall der Kali und Salz GmbH musste aus betrieblichen Gründen auf das 1. Quartal 2003 verschoben werden.
- Arbeitspunkt 5:* Es erfolgten Modellrechnungen zur Aufstellungsgeometrie und zur Ankopplung der Sender und Empfänger.
- Arbeitspunkt 6-7:* Das Datenmaterial des ersten Messeinsatzes wurde mit weiterentwickelten Auswerterroutinen bearbeitet und die Ergebnisse mit denen der Projektpartner verglichen.
- Arbeitspunkt 8:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### 4. Ergebnisse

- Arbeitspunkt 1:* Der Erkundungsschwerpunkt wird auf den Referenzmessort Sigmundshall gelegt. In Bischofferode können kurzfristig zusätzliche Sonarmessungen durchgeführt werden, wenn die Grube die notwendigen Messbohrungen zur Verfügung stellt.
- Arbeitspunkt 2:* Die weiterentwickelte Sende-Empfangstechnik gewährleistet ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis.
- Arbeitspunkt 3-4:* Der fortgeschrittene Stand von Hard- und Software erlaubt die kurzfristige Realisierung von Messkampagnen in Sigmundshall und ggf. Bischofferode.
- Arbeitspunkt 5:* Für die Ankopplung der Sensoren am Stoß mit Jochen wurden eine spezielle Fräseinrichtung und Koppelmittel entwickelt und im Labor erprobt.
- Arbeitspunkt 6-7:* Der Vergleich der Ergebnisse des Datenmaterials des ersten Messeinsatzes mit denen der Projektpartner führte zu einer Verschiebung der Aufstellung der Sonarsensoren für die zweite Messkampagne in der Grube Sigmundshall.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

In einer zweiten Messkampagne in Sigmundshall wird mit der verbesserten Messtechnik und Empfängerankopplung die Aussagekraft der Sonardaten erhöht.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Jacobs, F. et al. „Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien“, Poster zur 63. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 24.-28.2.2003 in Jena.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Leipzig, Ritterstraße 26, 04009 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0861</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geoelektrik, Seismik, Geologie		
<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 30.06.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 524.744,27 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Jacobs	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die untertägige Erkundung der geologischen Barriere von Endlagern und UTD sowie ihre möglichst genaue Vermessung und Bewertung sind wichtige Voraussetzungen für detaillierte Planungen und qualifizierte Sicherheitsnachweise. Im Ausgangsvorhaben (02C0558) wurde dazu ein leistungsfähiges kombiniertes Mess- und Auswerteinstrumentarium geschaffen. Das aktuelle Vorhaben wird die erfolgreich getesteten neuen geophysikalischen Techniken und die gewonnenen Erfahrungen auf die verallgemeinerten geomechanischen, geologischen, geohydrologischen und bergbaulichen Bedingungen des Kali- und Steinsalzbergbaus erweitern. Unter Einbeziehung neuer Ansatzpunkte werden geoelektrische und seismische Verfahren – gekoppelt mit den in den Parallelvorhaben "-Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen (02C0871) und "-Geosonar- und Ultraschallverfahren" (02C 0851) bearbeiteten Verfahren - an weiteren Referenzmessorten und durch Computermodellierungen anwendungsorientierte Beiträge zur Charakterisierung von Problemzonen und damit zur Langzeitsicherheitsbewertung leisten. Die Ergebnisverwertung umfasst Patentrecherchen, Handlungsempfehlungen, marktfähige Dienstleistungsangebote und Lizenzvergabemodelle. Gegenstand des Vorhabens ist die Einbindung geoelektrischer und seismischer Verfahren in das komplexe System.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Identifizierung der Referenzmessorte
2. Messkampagnen an den Referenzmessorten
3. Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter im Labor und in-situ
4. Geophysikalische Modellierung von Barriersituationen
5. Weiterentwicklung des komplexen Mess- und Auswerteinstrumentariums, Handlungsempfehlungen

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Am Referenzstandort Sigmundshall wurden im September 2002 die geoelektrischen Messungen auf dem im April angelegten 318m langen Profil beendet. Der gesamte Datensatz wurde einer 2D-Inversion unterzogen.

Die geoelektrischen Modellierungen mit den Finite-Elemente-Programmen ANSYS und FEMLAB wurden fortgesetzt.

An den Gesteinsproben, die im März und April entlang des Profils entnommen worden waren, wurden Labormessungen des Wassergehaltes nach dem Karl-Fischer-Verfahren sowie simultane Wassergehalts- und Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt.

An den seismischen Daten wurde zur Untersuchung der Richtungsabhängigkeiten eine Polarisationsanalyse vorgenommen.

#### 4. Ergebnisse

Im Nordwesten des Profils wurden scheinbare spezifische Widerstände zwischen  $10^6$  und  $10^{11}$   $\Omega\text{m}$ , im Südosten zwischen  $10^2$  und  $10^6$   $\Omega\text{m}$  gemessen. Die 2D-Inversion des Datensatzes zeigt sehr niedrige Widerstände (ca. 1000  $\Omega\text{m}$ ) im Bereich um die Bohrungen im Süden. Ein breites Widerstandsminimum, das auf eine ausgedehnte streckennahe Feuchtezone deutet (Werte zwischen 100 und 1000  $\Omega\text{m}$ ) befindet sich zwischen Profilmeter 0 und -20, ein weiteres Minimum liegt bei +20m. Ob die Feuchtezone mit dem in 60 bis 70m Entfernung erbohrten Laugenvorkommen korrespondiert oder bohrtechnisch bedingt ist, kann noch nicht eindeutig gesagt werden. Im nördlichen Teil steigen die Widerstände bis auf Werte  $>10^{10}$   $\Omega\text{m}$  an. Bei 220 m deutet sich eine Widerstandserniedrigung an ( $10^5$  und  $10^6$   $\Omega\text{m}$ ), die mit einem austretenden Radarreflektor zu korrelieren scheint.

Die bisherigen Modellrechnungen an einem quaderförmigen Hohlraum im homogenen Medium mit achsenparallel angelegten Elektroden ergaben, dass für eine Dipol-Dipol-Anordnung bei einer Aufstellungsweite, die der Breite bzw. Höhe der Strecken entspricht, bereits davon ausgegangen werden kann, dass die Messinformation nicht nur aus der Erkundungsrichtung kommt, sondern auch zu einem großen Teil bereits aus dem gesamten Raumbereich stammt. Ab einer Auslagenweite, die etwa dem Fünffachen des Streckendurchmessers entspricht, können die gewonnenen Informationen in einem homogenen Medium nicht mehr einer Profilschnittebene zugeordnet werden, sondern stammen aus einem dreidimensionalen Einflussbereich.

Die petrophysikalischen Laboruntersuchungen stehen im Einklang mit der 2D-Inversion des Geoelektrikdatensatzes. Der volumenbezogene Gesamt-Wassergehalt (mit äußerlich anhaftendem Wasser) der Proben variiert zwischen sehr geringen Werten von 0.2  $\text{mg}/\text{cm}^3$  im nordwestlichen Profilsbereich und 0.2 bis 1.5  $\text{mg}/\text{cm}^3$  im südlichen Bereich, extrem hohe Werte (bis 28  $\text{mg}/\text{cm}^3$ ) wurden bei Proben aus dem Profilsbereich +20 m gemessen.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Einbeziehung der geoelektrischen und seismischen Daten in das komplexe Auswerteeinstrumentarium, Interpretation
- Fortführung der Leitfähigkeits- und Wassergehaltsbestimmungen an den Proben aus Sigmundshall im Labor
- Fortsetzung der numerischen Modellierungen
- Erstellung des Abschlussberichtes

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

JUST, A., KRAUSE, Y., TUCH, A., JACOBS, F. (2002): Geoelektrische Untertage - Messungen zur Detektion von Problemzonen im Salinar.- X. Arbeitsseminar „Hochauflösende Geoelektrik“, Kloster Nimbschen/ Großbothen, 8.-11.10.2002

KRAUSE, Y., JUST, A., TUCH, A., JACOBS, F. (2002): Kombination einer Multielektrodenapparatur mit autonomen Transientenrekordern für geoelektrische Messungen im Salinar.- X. Arbeitsseminar „Hochauflösende Geoelektrik“, Kloster Nimbschen/ Großbothen, 8.-11.10.2002

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30631 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0871</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Elektromagnetik, Georadar, Quantitative Charakterisierung von Problemzonen		
<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 30.06.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 311.786,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Schulz	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben wird in enger Kooperation mit zwei weiteren Vorhaben zur gleichen Thematik aber mit den jeweiligen Schwerpunkten Geoelektrik, Seismik und Geologie bzw. Geosonar durchgeführt. Zielsetzung ist die effektive Anwendung einer Kombination von geophysikalischen Methoden bei Gewinnung, Verwahrung und Nachnutzung im Salzbergbau. Besonderes Augenmerk gilt den geologischen Barrieren gegen Laugenvorkommen. Das vorhandene Mess- und Auswerteeinstrumentarium soll durch kombinierte Messungen und Systemmodellierungen abgesichert und auf neue Problemstellungen an weiteren Lokationen mit anderen Geologietypen angewendet werden. Im Vorhaben steht zunächst die Weiterentwicklung des elektromagnetischen Verfahrens für die untertägigen Bedingungen im Vordergrund. Um den gesamten Informationsgehalt aller geophysikalischen Messungen auszunutzen, wird das selbstentwickelte Konzept der methodenspezifischen Anomalienkriterien und die Zusammenfassung zu einem gemeinsamen quantifizierten Problemindex einschließlich seiner visuellen Darstellung weiterentwickelt (quantitative Charakterisierung von Problemzonen).

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Auswahl von geeigneten Referenzmessorten  
 AP2: Erweiterung des Messinstrumentariums  
 AP3: Interpretation und Weiterentwicklung der Modellierung  
 AP4: Problemquantifizierung  
 AP5: Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten

AP1: Absprachen mit verschiedenen Grubeneignern über mögliche Mess-Standorte  
 AP3: Testmessungen an ausgewählten Standorten  
 AP4: Weiterentwicklung der Modellierung für elektromagnetische Messungen (EM)

#### **4. Ergebnisse**

In einem Bergwerk der K+S AG in Nordwestdeutschland wurde das elektromagnetische Reflexionsverfahren (EMR, Georadar) auf einem Profil über eine Länge von ca. 500 m eingesetzt. Die durch Bohrungen nachgewiesene Laugenstelle liegt in ca. 80 m Tiefe, die Eindringtiefe des EMR ist deutlich größer. Die Auswertung zeigt, dass das Radarverfahren eine gute strukturelle Auflösung ermöglicht. Die Laugenstelle scheint sich im Radargramm durch einen Bereich erhöhter Dämpfung der elektromagnetischen Welle abzuzeichnen. In diesem Bergwerk konnte wegen des laufenden Abbaubetriebes das elektromagnetische Induktionsverfahren (EM) nach der Reparatur des Gerätes noch nicht eingesetzt werden. Ein zusätzlicher elektromagnetischer Datensatz zur Lokalisierung von Lauge wurde in der Grube Bischofferode (Thüringen) gewonnen. Die Interpretation der EM-Messungen erfolgt mit einem numerischen Modellierungsprogramm (3D-EM Finite-Differenzen-Programm), das auch für weiterführende geologische Modelle und diverse Modell-Szenarien verwendet wird.

#### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Der EMR-Datensatz soll in einem geplanten Einsatz im Februar verfeinert werden, um eine präzisere Migration der vorliegenden geneigten Reflektoren zu ermöglichen und die Frequenzabhängigkeit des Reflexionskoeffizienten im Bereich der Laugenstelle zu untersuchen. Für EM-Messungen ist noch ein Termin im 1. Quartal 2003 zu vereinbaren. Die geologische Interpretation wird zusammen mit den Bergwerksgeologen vorgenommen; ein Arbeitstreffen ist im Januar 2003 vorbereitet.

Nachdem der vollständige Datensatz von allen Projektpartnern vorliegt, wird das komplexe Auswerteinstrumentarium an diesem umgesetzt. Modellierungen für das elektromagnetische Induktionsverfahren (EM) und das elektromagnetische Reflexionsverfahren (EMR) werden für verschiedene Szenarien durchgeführt. Die dort gewonnenen Ergebnisse werden bei der Erstellung von Anomaliekriterien verwendet.

#### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

#### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

Vorträge:

IGEL, J., KURZ, G. & SCHULZ, R.: Untertägige Erkundung mit dem Georadar zur Detektion von Feuchtezonen. - TU Berlin, Fachgebiet Angewandte Geophysik, 12.12.2002.

KURZ, G., IGEL, J. & SCHULZ, R.: Interpretation of underground frequency electromagnetic data by FD modelling. - DGG-Seminar Ingenieur- und Umweltgeophysik, 23.-25.10.2002; Neustadt/Weinstr.

KURZ, G., IGEL, J. & SCHULZ, R.: 3D-Auswertung von elektromagnetischen Messungen unter Tage im Salinar. - Hochauflösende Geoelektrik, X. Arbeitsseminar, 8.-11.10.2002, Großbothen/Leipzig.

<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> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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, und auf dieser Basis die Entwicklung neuer Verfahren zur numerischen Modellierung des Langzeitverhaltens von Verschlussbauwerken unter realitätsnahen Bedingungen und Beanspruchungen, zum Ziel.

Im Mittelpunkt steht die Quantifizierung der Eigenschaften von variabel gesättigten, hochverdichteten Bentoniten.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

#### Arbeitsgruppe Tübingen

- Entwicklung der FE-Kerne für Mehrphasen-Mehrkomponenten-Prozesse und für inelastische Deformationsprozesse (return mapping algorithm)
- Erweiterung der Material-Bibliothek: (1) nichtisotherme Fluideigenschaften mit Phasenübergängen zwischen Fluiden, (2) Porositäts- und Permeabilitätsänderungen infolge Quellprozesse (Börgesson und DDL-Modell) und (3) elasto-plastische Deformation (Drucker-Prager-Modell).
- erste Rechnungen für Mehrphasen-Mehrkomponenten-Prozesse, den Einfluss von Quellprozessen in Bentoniten sowie elasto-plastische Konsolidierungsprozesse.
- Analyse (Genauigkeit, Stabilität) von verschiedenen Kopplungsstrategien (partitionierte und monolithische Methoden) für die Lösung des nichtlinearen Mehrfeldproblems

#### Arbeitsgruppe Braunschweig

Es wurden eine quaderförmige und eine große zylindrische Quelldruckmesszelle mit identischen Innenvolumina gebaut. 10 Quelldruckversuche mit IP21-Lösung / Calcigel wurden durchgeführt.

#### Arbeitsgruppe Freiberg

- Beendigung des Rückbau des Dichtelementes in Sondershausen
- Nachuntersuchungen am Versuchsort (Permeabilitätsmessungen, Feuchtegehalte im Bentonit und in der Gebirgskontur, Ortung von Fließwegen)

### 3. Durchgeführte Arbeiten

*AG Braunschweig:* 10 Quelldruckmessungen an Calcigel und gesättigter NaCl-Lösungen; Messzelle für quaderförmige Probekörper in Auftrag gegeben (kleineres Innenvolumen als das realer Bentonit-Formsteine, jedoch gleiche Kantenlängenverhältnisse)



*AG Freiberg:* Die Luftseite des Dichteelementes war aufgrund der axialen Verschiebungen des statischen Widerlagers nachgerückt. Gleichzeitig ist die Druckseite zurückgequollen, was zu einer lokalen Auflockerung der druckseitig ersten vier Schalen des Dichteelementes um 20 – 25 % führte. Die Gesamtlänge des Dichteelementes erhöhte sich von 5,00 m auf 5,17 m. Die Durchfeuchtung des Dichteelementes I war bis zu einer Länge von 1,5 bis 1,6 m von der Druckseite über den gesamten Querschnitt durchfeuchtet. Danach verlief die Durchfeuchtung in der Sohle (0,5 bis 1 m tief) und am rechten Stoß (ca. 0,5 m tief) über die gesamte Länge des Dichteelementes durchgehend. In der Firste und am linken Stoß verlief die Feuchtefront nur bis zu einer Länge von 4,0 bis 4,50 m. Ursachen der Umströmung des Dichteelementes waren Undichtheiten im zementierten Sohlenkanal (Führung von Rohrleitungen und Messkabeln) sowie die hohe Permeabilität der Gebirgskontur in der Firste ( $> 10^{-15} \text{ m}^2$  nach dem Rückbau gemessen). Die axiale Verschiebung des statischen Widerlagers und das Nachrücken des Dichteelementes führten zu einer Auflockerung des Dichteelementes. Durch diese Dichterduzierung fiel der Quelldruck.

*AG Weimar:* Fortführung der im vergangenen Bericht erläuterten experimentellen Langzeitversuche.

#### 4. Ergebnisse

*AG Tübingen:* Bei den extrem hohen Kapillardrücken in Bentoniten (bis zu  $10^9 \text{ Pa}$ ) treten z.T. Probleme in Form instabiler Lösung bei den numerischen Berechnungen auf. Hierzu müssen die numerischen Berechnungsverfahren weiter verbessert werden.

*AG Braunschweig:* Mit IP21-Lösung / Calcigel wurden Quelldrucke von 5,5 plusminus 1,5 bar bei einer Spannweite von 4,3 bar gemessen. Die eingedrückten Lösungsmassen schwankten zwischen ca. 25 und 35 g Lösung bei einer Einwaage von ca. 75 g Calcigel.

*AG Freiberg:* Nach dem Rückbau wurden folgende konturnahe Permeabilitäten des umliegenden Steinsalzes gemessen: Firste:  $> 10^{-15} \text{ m}^2$ , Stöße:  $10^{-18}$  bis  $10^{-17} \text{ m}^2$ . Bis auf wenige Ausnahmen zeigten alle aus dem Gebirge bis zu einem Abstand von der Kontur von 30 cm entnommenen Proben einen Wassergehalt von  $> 0,1 \%$  (Referenzwert außerhalb des Bauwerkes 0,07 %).

*AG Weimar:* Die experimentellen Arbeiten konzentrieren sich z.Z. auf eine Mischung von 50% Calcigel und 50% Quarzsand (Dichte ca.  $2.2 \text{ g/cm}^3$  und  $w=0,07-0,09$ ).

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

*AG Braunschweig:* Durchführung von Quelldruckversuchen im System IP21-Lösung / Calcigel mit der großen zylindrischen Messzelle. Aufbau des Versuchstandes mit der quaderförmigen Messzelle.

*AG Freiberg:* Fertigstellung Dokumentation des Rückbaus des statischen Widerlagers und des Dichteelementes, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben.

*AG Weimar:* Fortführung der Quelldruckmessungen, Modifizierung des Spezialoedometers.

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</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> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 428.800,00 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

- AP 1: Gewinnung von Probelöcken mit Schichtflächen bzw. Schichtübergang Carnallit/Steinsalz an den zuvor ausgewählten Standorten in situ. Herstellen von quaderförmigen Prüfkörpern mit den Abmessungen für die Scherboxen durch Sägen und Bearbeiten auf einer Karusselldrehbank im Gesteinslabor.
- AP 2: Entwicklung eines analytischen Schermodellansatzes für Diskontinuitäts- und Schichtflächen im Salinar.

### 4. Ergebnisse

- AP 1: Die schneidende Gewinnung von Blöcken aus dem salinaren Schichtverband in situ ist praktikabel anwendbar. Die Herstellung von passenden Prüfkörpern für die Scherboxen im Labor ist zu optimieren, da durch zu hohe Beanspruchungen z.T. Prüfkörper an den Schichtflächen zerfallen sind.
- AP 2: Zur Beschreibung des Scherverhaltens von Schichtflächen im Salinar muss neben der Reibung ein Kohäsionsterm berücksichtigt werden, der von der Belastungsgeschwindigkeit abhängt.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- AP 1: Entwicklung eines Bohrstandes mit dem im Gesteinslabor durch schonendes Bohren zylindrische Prüfkörper mit Schichtflächen für Scherversuche gewonnen werden können. Durchführung erster Scherversuche an salinaren Schichtflächen.
- AP 2: Überprüfung des entwickelten, analytischen Schermodellansatzes durch geschwindigkeitsabhängige Testversuche an salinaren Schichtflächen.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-BAF, Akademiestr. 6, 09596 Freiberg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0902</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Wissenschaftlich-technisches Programm für den Rückbau des in situ getesteten Versuchsverschlussbauwerkes in der Grube Sondershausen		
<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 31.12.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 82.931,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Sitz	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel der Arbeiten besteht in der Gewinnung von Daten zur Bestätigung der Funktionstüchtigkeit der verschiedenen Konstruktionselemente des Versuchsverschlussbauwerkes (statisches Widerlager, Dichtelement) und zur Erarbeitung eines Grundkonzeptes für zukünftig zu errichtende Streckenverschlussbauwerke im Salinar für UTD/UTV.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1: Durchführung von wissenschaftlich-technischen Arbeiten während der Rückbauarbeiten (1/2002 – 12/2002)

AP 2: Durchführung technischer Arbeiten zum Rückbau (1/2002 – 8/2002)

### 3. Durchgeführte Arbeiten

AP 1:

- Teilbericht zum Rückbau des Dichtelementes liegt vor

AP 2:

- Rückbau des Dichtelementes und der Druckkammer abgeschlossen
- Permeabilitätsmessungen in der Gebirgskontur nach dem Rückbau
- Untersuchung von Gesteinsproben aus der Gebirgskontur um das Dichtelement

#### **4. Ergebnisse**

AP 1:

Die Luftseite des Dichtelementes war aufgrund der axialen Verschiebungen des statischen Widerlagers nachgerückt. Gleichzeitig ist die Druckseite zurückgequollen, was zu einer lokalen Auflockerung der druckseitig ersten vier Schalen des Dichtelementes um 20 – 25 % führte. Die Gesamtlänge des Dichtelementes erhöhte sich von 5,00 m auf 5,17 m.

Nach dem Rückbau wurden folgende konturnahe Permeabilitäten des umliegenden Steinsalzes gemessen: Firste:  $> 10^{-15} \text{ m}^2$ , Stöße:  $10^{-18}$  bis  $10^{-17} \text{ m}^2$ .

Bis auf wenige Ausnahmen zeigten alle aus dem Gebirge bis zu einem Abstand von der Kontur von 30 cm entnommenen Proben einen Wassergehalt von  $> 0,1 \%$  (Referenzwert außerhalb des Bauwerkes 0,07 %).

AP 2:

Abschluss der technischen Arbeiten.

#### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten sind abgeschlossen.

#### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

#### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50455 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> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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

- Beginn der Literaturlauswertung.
- Einführung und Qualifizierung einer empfindlichen und quantitativen UV-spektroskopischen Analysenmethode für monomere Si-Spezies in wässriger Lösung.
- Bestimmung der Löslichkeit von Kieselsäure in einfachen Lösungssystemen bei neutralem pH-Wert in Gegenwart von Ionen des hexären Systems der ozeanischen Salze.
- Beginn der Untersuchungen zur Löslichkeit von Kieselsäure bei pH-Werten zwischen 9 und 10 in Gegenwart von Ionen des hexären Systems der ozeanischen Salze durch potentiometrische Titration .
- Beginn der Auflösungsreaktion von einfachen Mineralphasen (Forsterit und Wollastonit).

### 4. Ergebnisse

- Die Ergebnisse der Löslichkeitsuntersuchungen von Kieselsäure in wässrigen neutralen Lösungen in Gegenwart von Ionen des hexären Systems ozeanischer Salze stimmen gut mit Literaturdaten überein, wenn die unterschiedliche Größe der Kieselsäureteilchen (und damit einhergehend ihr unterschiedlicher  $\ln K$ -Wert) berücksichtigt wird.
- Die Löslichkeit von Kieselsäure in Gegenwart von  $K_2SO_4$  wurde erstmals quantifiziert.
- Bei potentiometrischen Titrationen wurde eine Verschiebung des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von  $H_4SiO_4 / H_3SiO_4^-$  in Abhängigkeit von der Salzfracht beobachtet.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Fortsetzung der Literaturlauswertung.
- Fortsetzung der begonnen Arbeiten mit undissoziierten und einfach dissoziierten Si-Spezies in Lösungen.
- Fortsetzung der Untersuchung von Auflösungsreaktionen von einfachen Mineralphasen.
- Beginn der Untersuchungen zur Löslichkeit komplexer aufgebauten Mineralphasen.
- Beginn der Arbeiten zur Löslichkeit von Gibbsit im pH-Bereich  $> 9$  in den Systemen  $NaCl-H_2O$ ,  $KCl-H_2O$ ,  $CaCl_2-H_2O$ ,  $Na_2SO_4-H_2O$  und  $K_2SO_4-H_2O$ .

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. 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 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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

Das Vorhaben 02C0922 umfasst folgendes Arbeitsprogramm:

- 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

Entsprechend dem Zeitplan des Vorhabens wurde das AP 1 (Konzeption des Verschlussbauwerkes, Versuchsplanung) weitgehend bearbeitet. Die Konzeption des Verschlussbauwerkes (AP 1.1) konnte festgelegt werden. Dabei wurde herausgearbeitet, dass die Übergänge vom Dichtsegment (DS) auf das Äquipotenzialsegment (ÄS) einer vertieften Untersuchung bedürfen. Das Austrocknen eines DS (Bildung von Schrumpfrissen) ist zu verhindern. Dazu ist das ÄS gegliedert zu konstruieren, nämlich flächig benetzend an der Kontaktfläche mit dem DS und kapillARBrechend in seinem Kern. Die Variation der Schichtfolgen (AP 1.2) erbrachte, dass mindestens vier Folgen von DS-ÄS vorzusehen sind. Das Einbringen der Überwachungssensoren (AP 1.4) konnte in einem Vorversuch in Freiberg untersucht werden. Der Einbau der Sensoren ist auch senkrecht durch die Segmente möglich, ohne dass das Verschlussbauwerk durch Wasserwegsamkeit entlang der Sensoren seine Funktion verliert. Die Feuchtefront konnte auch im Salinar genügend genau detektiert werden. Im AP 1.3 (Ausbil-



dung der Ränder des Verschlussbauwerkes, Trennen der einzelnen Schichten (siehe auch AP 1.1, Bau- und Einbringtechnik) wurden die Erfahrungen aus abgeschlossenen Großversuchen berücksichtigt. Das Verschlussbauwerk soll die Eigenheiten verschiedener Wirtsgesteine berücksichtigen (AP 1.6). Derzeit ist vorgesehen, die ÄS in das Wirtsgestein einzubinden, um Umläufigkeiten über die Auflockerungszone zu erfassen. Die sicherheitstechnischen Randbedingungen, speziell für den Bau unter Tage, wurden eruiert und in die Bautechnik integriert (AP 1.5). Staubende, sich zersetzende oder mikrobiologisch abbaubare Materialien sind auszuschließen. Bei der Universität Weimar (02C0881) soll die Numerische Modellierung (AP3) des Verschlussbauwerkes erfolgen. Die erforderlichen Materialkennwerte wurden festgelegt.

#### 4. Ergebnisse

Im Wesentlichen wurde AP1 umgesetzt und AP3 vorbereitet.

**Geotechnik:** Für den Nachweis der Wirksamkeit des Verschlussbauwerkes ist die Ermittlung des tatsächlichen Wassergehaltes im DS erforderlich. Dazu sind vertiefte Materialuntersuchungen nötig. Der Einsatz anionischer Tone in DS oder ÄS ist zu prüfen.

**Numerische Modellierung:** Auch für diese Aufgabe sind die Basisdaten (Materialkennwerte) entscheidend. Das Vorgehen kann nur iterativ erfolgen, d.h. parallel zu den Materialuntersuchungen (AP2) sind die kritischen Parameter zu bestimmen.

**Verschlussbauwerk:** Die Folge der DS und ÄS konnte geklärt werden. Schwerpunkt wird die Bestimmung des Materials im ÄS, das gleichzeitig kapillar brechend (Unterbrechung des Flusses durch das DS) und flächig benetzend (Oberfläche des DS) sein soll. Zur Durchführung der geplanten Laborversuche wurde zur Wahrung der Übertragbarkeit der notwendige Maßstab bestimmt. Da die geometrischen Parameter in der Analyse erhalten bleiben, führt die zulässige Verkleinerung zum Maßstab des halbtechnischen Versuches (AP4). In einem Vorversuch konnte gezeigt werden, dass das geplante Messsystem in das Verschlussbauwerk integrierbar ist und die Feuchtefront im Verschlussbauwerk genügend genau detektiert werden kann.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

Gemäß Zeitplan wird AP1 abgeschlossen. Parallel wird AP3 (Numerische Modellierung) begonnen. AP2 (Laborversuche) soll modifiziert werden. Dazu soll mit der vertieften Untersuchung der Materialien für die ÄS und für die DS begonnen werden.

#### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

Die Patentanmeldung Nr: 10149972.8, *Verschlussstopfen und Verfahren zum Verschließen von untertägigen Hohlräumen*, wurde vom Patent- und Markenamt als Patent eingetragen.

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<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> 01.10.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 470.201,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Knoll	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

- Erarbeiten einer Grundkonzeption für langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke im leichtlöslichen Salzgestein für eine UTD/UTV
- Weiterentwicklung von Endlager- bzw. Untertagedeponienkonzeption unter Sicherheitsgesichtspunkten
- Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Mitarbeit und Koordinierung der FuE-Arbeiten der Partnereinrichtungen in den Paketen:

- AP 1 Geochemisch-lösungskinetische Voraussetzungen und technisch /konstruktive Maßnahmen zur Verhinderung von Löseerscheinungen im Verschlussbereich
- AP 2 Analyse der Wirkungsbedingungen und Ableitung der Anforderungen
- AP 3 Charakterisierung und Modellierung der ALZ als Werkzeug zur Bemessung des Verschlusses
- AP 4 Voraussetzungen für eine lösungsinduzierte Kristallisation zur Abdichtung der ALZ
- AP 5 Wirkprinzipien und Möglichkeiten für eine langzeitliche Ertüchtigung der ALZ
- AP 6 Mögliche Baumaterialien
- AP 7 Entwicklung eines Grundkonzeptes

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Zusammenstellung der bisher bekannten Bedingungen zur Kristallisation von  $\text{CaSO}_4$ -Phasen aus Q-Lauge. Erstellung eines Versuchsplanes zur Kristallisationskinetik von  $\text{CaSO}_4$ -Phasen in Q-Lauge. Aufnahme von Referenz-Ramanspektren für Salzminerale. (Kooperationspartner: TU BA Freiberg, IfAC)

Zur Erfassung der grundsätzlichen Wirkungsbedingungen in situ und zur Durchführung von Permeabilitätsmessungen in situ ist eine Auswahl möglicher Standorte für experimentelle Arbeiten unter Tage getroffen worden. Die Versuche wurden geplant und in die geeigneten geologischen Positionen eingeordnet (Kooperationspartner: KUTEC).

Erste Versuchsreihen zur Optimierung des Schwellverhaltens von Anhydritgruspresslingen wurde begonnen. (Kooperationspartner: IfG).

Zur Optimierung der Forschungsarbeiten wurden negative Erfahrungen bisheriger Dammbauwerke in leichtlöslichen Salzgesteinen analysiert (Kooperationspartner TU BA Freiberg, IfB)

### 4. Ergebnisse

Es existiert bis heute keine wirksame Streckendichtung im leichtlöslichen Salzgestein. Das Dichtungsbauwerk muss wahrscheinlich ein kaskadierbares Multikomponentensystem sein, wobei die z.T. redundanten Einzelkomponenten der jeweiligen geologischen Situation und ihrer spezifischen Wirkungsweise entsprechend, in bestimmte Bereiche der abzudichtenden Strecke eingebaut werden. (TU Freiberg, IfB)

Erste orientierende Ergebnisse zur Umwandlungsgeschwindigkeit  $\text{CaSO}_4$ -Halbhydrat in Q-Lauge wurden erarbeitet (TU Freiberg, IfAC)

Durchführung einer geologischen Aufnahme der Verhältnisse im Versuchsort (mit K-UTEC) Auswahl für Messstandorte für beginnende Versuche (Vorversuche zur Bestimmung der ALZ) und Vorbereitung der Versuchsdurchführung (mit IBeWa) für 01/03.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Durchführung von In-situ-Untersuchungen zur Erfassung der Wirkungsbedingungen und Probenahme zur Bestimmung der zur Beschreibung der ALZ relevanten gesteinsmechanischen Parameter.

Experimentelle Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Gips, Halbhydrat und Anhydrit in Q-Lauge in unterschiedlichen Anteilen von löslichen Sulfaten und Carnallitit.

Fortsetzung der Laborversuche zum Schwellverhalten von Anhydritgruspresslingen. Mineralogische Untersuchungen am Probenmaterial.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. 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> 01.10.2002 bis 31.12.2002	
<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.

Laborative Messung der Gaspermeation an ungestörten Salzkernen und Untersuchungen der Kapillar- und Gassperrdrücke an Salzpresslingen und Sandsteinreferenzmaterial als Basisversuche zur Korrelation der Prozessabläufe an dilatant aufgelockerten Salzkernen in Anwesenheit einer Lagenphase. 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. 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 02C0952 umfasst folgende Arbeitspakete :

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

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Die Arbeiten sind angelaufen. Der Versuchs- und Probenahmeort wurde festgelegt und die erforderliche Ausrüstung bestellt.

### **4. Ergebnisse**

Es liegen noch keine Ergebnisse vor.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden programmgemäß weitergeführt.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine



## **2.4 W-Vorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 W 6218</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung digitaler Safeguardstechniken zur Verbesserung der Effektivität und der Kosteneffizienz und Anpassung an das neue Safeguardssystem INFCIRC/540		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.01.1999 bis 30.04.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 847.935,15 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Stein	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Jahre 1997 beschloss der Gouverneursrat der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) die Einrichtung eines neuen Safeguardssystems zur Stärkung der Effektivität und der Effizienz der IAEO-Kontrollen. Das IAEO-Ziel ist die Entdeckung nichtdeklarerter Aktivitäten und Anlagen in den kontrollierten Staaten sowie die Überprüfbarkeit der Vollständigkeit und Korrektheit der Deklarierungen dieser Staaten.

Weiterhin soll das bestehende INFCIRC/153-Überwachungssystem mit dem neuen INFCIRC/540-System zusammengeführt werden (Integrated Safeguards System). Die generelle Zielsetzung ist hierbei, den Inspektionsaufwand der IAEO zu reduzieren durch geeignete Zusammenarbeit mit der Euratom-Behörde im Rahmen des New Partnership Approach.

Die jüngsten Forschungsarbeiten und Diskussionen bei der IAEO haben gezeigt, dass das Ziel der Kosten- und Ressourcenschonung durch den Einsatz zweier neuer Elemente erreicht werden könnte:

- I. Vernetzbare, miniaturisierte, fernabfragbare Überwachungstechniken und
- II. Auswertung von 'open information sources' und hier insbesondere von Daten satellitengestützter Sensoren (Satellitenerkundung).

Das Vorhaben baut auf den Ergebnissen des vorangegangenen Vorhabens 02 W 6184 auf.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

#### TEIL I: Vernetzbare, miniaturisierte, fernabfragbare Überwachungstechniken

- a) Festlegung der Geräte-Anforderungen
- b) Festlegung der Geräte-Funktionen
- c) Entwicklung eines Laborprototypen
- d) Demonstration und Test des Laborprototypen
- e) Festlegung der Spezifikationen des Seriengerätes
- f) Entwicklung des Seriengerätes
- g) Demonstration und Test des Seriengerätes im integrierten System mit Video und Fernabfrage
- h) Analyse der Kostenreduktion für die IAEO und Euratom

#### TEIL II: Auswertung von Open Information Sources (Satellitenerkundung)

- a) Einordnung der Satellitenüberwachung in die Konzeption und Philosophie der Open Sources
- b) Untersuchung der Synergie-Effekte der Satellitenüberwachung und anderer Kontrollsystem
- c) Entwicklung von Methoden zur Unterstützung der IAEO-Routineaktivitäten
- d) Identifizierung von Indikatoren zur Entdeckung nichtdeklarerter Anlagen oder Aktivitäten
- e) Analyse der Kostenreduktion für die IAEO
- f) Abschlussbericht



### 3. Durchgeführte Arbeiten

#### TEIL I: Vernetzbare, miniaturisierte, fernabfragbare Überwachungstechniken

Die Arbeiten zum digitalen Vielkanal-Analysator DIUM ruhen. Leitlinien für die Datenfernübertragung wurden für einen größeren nationalen und internationalen Rahmen ausgearbeitet.

#### TEIL II: Auswertung von Open Sources (Satellitenerkundung)

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde mit der Entwicklung von Auswerte-Tools für hyperspektrale Bilder begonnen, die auf spezielle Beispiele angewendet werden sollen.

### 4. Ergebnisse

#### TEIL I: Vernetzbare, miniaturisierte, fernabfragbare Überwachungstechniken

Weiterhin liegen die technischen Dokumentationen zu den DIUM-Gerätespezifikationen sowie die TMCADR Dynamic Link Library nur als Entwürfe vor. Die Leitlinien zur Datenfernübertragung aus kerntechnischen Anlagen wurden in einer gemeinsamen Sitzung der ESARDA Arbeitsgruppen C/S und NDA diskutiert.

#### TEIL II: Auswertung von Open Sources (Satellitenerkundung)

Analysen von Anlagenmerkmalen führten zu ersten Ergebnissen.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

#### TEIL I: Vernetzbare, miniaturisierte, fernabfragbare Überwachungstechniken

Implementierung von Authentifizierung, Verschlüsselung und Autorisierung in DIUM, Fertigstellung der DIUM-Dokumentationen, Bau von DIUM-Vorproduktions- sowie Feldtest-Einheiten, Durchführung von Qualifikations- und Feldtests mit DIUM.

#### TEIL II: Auswertung von Open Sources (Satellitenerkundung)

Abschluss der Entwicklung der Auswerte-Tools und Anwendung auf ausgewählte Beispiele.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

zur Zeit nicht zutreffend

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Jasani, B. und Stein, G. (Hrsg.): Commercial Satellite Imagery – A tactic in nuclear weapon deterrence, Springer-Verlag und Praxis Publishing, 2002, ISBN 3-54042-643-4.

Stein, J., Gueorguiev, A., Brands, H., Kreuels, A., Richter, B., Aparo, M., Arlt, R., Schwalbach, P.: Design Concept of the Digital Unattended Multi-Channel Analyzer DIUM, Tagungsband der 43. Jahrestagung des INMM, Orlando, 23.-27. Juni 2002, CD-ROM; und Bericht Nr. 338 des BMWA/IAEA Joint Programme.

<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> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<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**

Am 10.12.02 fand eine Sitzung der Projektgruppe statt auf der insbesondere die Situation hinsichtlich der Massenvernichtungsmassen in Nordkorea und im Irak diskutiert worden ist.

### **4. Ergebnisse**

Besonders die Präsentation von Mitarbeitern des AA sowie der IAEO in Wien konnte eine Vielzahl von offenen Fragen klarstellen. Die Diskussionen in der Gruppe bilden ein wesentliches Element für den Definitionsprozess der deutschen Position zu diesem Komplex.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Es sind für das Jahr 2003 weitere Sitzungen der Projektgruppe mit kleineren Workshops vorgesehen, die sich weiterhin mit der aktuellen Situation zu Massenvernichtungswaffen im Irak und Nordkorea beschäftigen sollen.

### **6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte**

keine

### **7. Berichte, Veröffentlichungen**

W. Fischer et.al.: Der nukleare Stoffstrom und seine internationale Kontrolle. In: G. Stein (Hrsg.) Umwelt und Technik im Gleichklang, Springer 2003



## **2.5 BMWA-Hausvorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E)		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>KWA 9901</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> „Unterstützungsprogramm Granit“		
<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> 01.01.1999 bis 31.12.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2002 bis 31.12.2002	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.112.412,12 EUR	<b>Projektleiter</b> Dipl.-Ing. W. Bechthold	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit dem Vorhaben werden die Rahmenbedingungen für die Mitarbeit deutscher Wissenschaftler an den internationalen Forschungsprogrammen im schweizerischen Felslabor Grimsel (FLG) und im schwedischen „Hard Rock Laboratory“ (HRL) Äspö gegeben. Diese durch bilaterale Verträge geregelte Mitarbeit dient der weiteren Vertiefung der Kenntnisse über die Mobilität und Ausbreitung von Radionukliden in der Umgebung eines Endlagers in kristallinem Gebirge (Granit) und der Verbesserung der für die Charakterisierung des Endlager-Wirtsgesteins und für die Durchführung von Endlager-Sicherheitsanalysen benötigten Instrumentarien. Zur Erreichung dieser Ziele werden In-situ-Untersuchungen, Laborversuche und Modell-Entwicklungen durchgeführt. Die Arbeiten sind zu einem großen Teil eingebunden in internationale Projekte. Durch die Mitarbeit in internationalen Arbeitsgruppen wird der Erfahrungsaustausch und die Kenntniserweiterung auch auf den an die genannten Ziele angrenzenden Feldern ermöglicht.

Die Arbeiten werden bei BGR, DBE Technology, FZK, FZR, GRS, TU Clausthal und Uni Stuttgart durchgeführt. Sie werden ausführlicher in den Berichten über die jeweiligen Vorhaben in Kapitel 2.1 beschrieben.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Vorhaben können den folgenden Arbeitsfeldern zugeordnet werden:

1. Experimentelle In-situ- und Labor-Untersuchungen zu Strömungs- und Transportprozessen und zum Zwei-phasenfluss in den technischen Barrieren und im Gebirge (Vorhaben 02E 9198, 02E 9390, 02E 9430)
2. Weiterentwicklung und Erprobung von experimentellen Methoden zur Bestimmung der Feuchtigkeitsausbreitung und zur Beurteilung der geomechanischen Gebirgseigenschaften in der Umgebung untertägiger Hohlräume (Vorhaben 02E 9249, 02E 9279, 02E 9390)
3. Weiterentwicklung und Erprobung von numerischen Modellen und Programmen für die Simulation von Strömungsvorgängen und die Berechnung der Ausbreitung von Schadstoffen im Gebirge (Vorhaben 02E 9370, 02E 9430)
4. Untersuchungen zu Migration, Transport und Rückhaltung von kolloidalen und gelösten Radionuklidspezies in den technischen und natürlichen Barrieren (Vorhaben 02E 9410, 02E 9491, FZK/INE (überwiegend Grundfinanzierung des FZK))

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- GMT (FLG): Fortsetzung der Flutung des Gesamtsystems und der Gasausbreitungs-Messungen, Laboruntersuchungen zur Gas- und Wasserpermeabilität.
- FEBEX (FLG): Laborversuche zur Durchlässigkeit der ausgebauten Filterrohre und Abschluss und Auswertung der Versuche zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Bentonit-Versatz.
- EBS (HRL): Beendigung der Versuchsreihe zur Aufsättigung des Bentonits und Beginn der Untersuchungen zur Bestimmung der Hydratationsrate.
- Prototype Repository (HRL): Auswertung der Messungen in den installierten Arrays und Ermittlung der Resistivitäten von Granitproben in Abhängigkeit von Sättigung und Temperatur.
- Berechnung von Gas-Wasser-Prozessen in geklüfteten Medien (HRL): Weiterentwicklungen und Anwendungen des Perkolationsmodells und Entwicklung eines Ansatzes zur Erzeugung von Kluftöffnungsweiten. Vergleich der Ergebnisse mit Messungen der KTH Stockholm.
- Aktiniden-Migration (HRL): Versuche mit der CHEMLAB-II-Sonde zur Ausbreitung von Aktiniden.
- Colloide (HRL): Messung der im Grundwasser des HRL vorkommenden Colloide mit der im INE entwickelten mobilen und mit einer Hochdruckzelle versehenen LIBD-Sonde.
- Radionuklidrückhaltung in alterierten Kluftbereichen (HRL): Beendigung der experimentellen Arbeiten und Aufbereitung des Datenmaterials für den Schlussbericht.
- Wechselwirkung von Actiniden mit Bakterien (HRL): Fortsetzung der Aufnahme von Wachstumskurven und der Charakterisierung der Biomasse mit Lichtmikroskop und REM. Untersuchung der Wechselwirkung der Biomasse mit Uran(VI) und Curium.

### 4. Ergebnisse

Siehe Bericht zu den einzelnen Vorhaben in Kapitel 2.1.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- GMT (FLG): Diffusionsmessungen und Laboruntersuchungen zur Gas- und Wasserpermeabilität.
- FEBEX (FLG): Laborversuche zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Bentonit-Versatz und Wieder-Beginn der In-situ-Untersuchungen nach Abschluss der Installationsarbeiten im FLG.
- EBS (HRL): Versuche zur Aufsättigung des Bentonits mit Wasserdampf und zur Bestimmung der Hydratationsrate, Test der entwickelten Modelle anhand von Ergebnissen aus Laborversuchen.
- Prototype Repository (HRL): Installation von Arrays im Buffer und im Versatz und Fortsetzung der laufenden Messungen. Erstellung eines Berichts über die durchgeführten Kalibrierungsmessungen.
- Berechnung von Gas-Wasser-Prozessen in geklüfteten Medien (HRL): Abschluss der Arbeiten zur Modell-Entwicklung, Erstellung des Schlussberichts.
- Aktiniden-Migration (HRL): Wieder-Beginn eines langfristigen (80 Tage) Versuchs mit der CHEMLAB-II-Sonde oder Durchführung eines Versuchs mit einer alternativen Methode.
- Colloide (HRL): Messung der Ausbreitung und Migration von Colloiden im Grundwasser des HRL.
- Radionuklidrückhaltung in alterierten Kluftbereichen (HRL): Erstellung des Schlussberichts.
- Wechselwirkung von Actiniden mit Bakterien (HRL): Abschluss der Untersuchung zur Reduktion des Uran(VI), Fortsetzung der Untersuchungen zur Bioakkumulation von Curium, Beginn von Versuchen zur Wechselwirkung mit Plutonium und Neptunium.

### 6. Erfindungen, Neuerungen, Verbesserungen, Schutzrechtsanmeldungen bzw. erteilte Schutzrechte

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Siehe Berichte zu den einzelnen Vorhaben in Kapitel 2.1.





### 3 Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen

<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	138
<b>BUTEC Umwelttechnik GmbH, Im Kusterfeld 23/1, 71522 Backnang</b>		
02 E 9340	Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen	42
<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	24
02 E 9511	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	74
02 E 9521	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)	76
02 E 9531	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	78
02 E 9571	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen	86
02 E 9612	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	94
02 E 9642	Untersuchungen zur Endlagerung in Großbohrlöchern	100
<b>Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE), Eschenstraße 55, 31201 Peine</b>		
02 E 9289	Versuchsfeldaufwältigung und Rückgewinnung von Materialproben und Messeinrichtungen	32
<b>Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich</b>		
02 W 6218	Entwicklung digitaler Safeguardstechniken zur Verbesserung der Effektivität und der Kosteneffizienz und Anpassung an das neue Safeguardssystem INFCIRC/540	154
02 W 6232	Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen	156
<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe</b>		
02 C 0810	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung	124
KWA 9901	Unterstützungsprogramm Granit	160

<b>Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), Postfach 510119, 01314 Dresden</b>
--















- |           |  |      |
|-----------|--|------|
| 02 E 9299 | Untersuchungen über die Komplexierung und die Migration von Aktiniden und nichtradioaktiven Stoffen mit Huminsäuren unter geogenen Bedingungen – Komplexierung von Huminsäuren mit Aktiniden in der Oxidationsstufe IV Th, U, Np | 📖 34 |
| 02 E 9471 | Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle   | 📖 66 |
| 02 E 9491 | Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters  | 📖 70 |

<b>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Leonrodstraße 54, 80603 München</b>
--


- |           |  |       |
|-----------|--|-------|
| 02 C 0851 | Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geosonar- und Ultraschallverfahren | 📖 132 |
|-----------|--|-------|

<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Schwertnergasse 1, 50455 Köln</b>
---

- |           |  |       |
|-----------|--|-------|
| 02 C 0628 | Modellrechnungen zur großräumigen dichteabhängigen Grundwasserbewegung   | 📖 108 |
| 02 C 0669 | Hydraulische Kennwerte von tonhaltigen Mineralgemischen zum Verschluss von Untertagedeponien   | 📖 112 |
| 02 C 0689 | Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien  | 📖 114 |
| 02 C 0710 | Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten  | 📖 118 |
| 02 C 0830 | Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar   | 📖 128 |
| 02 C 0912 | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien  | 📖 144 |
| 02 E 9118 | Untersuchungen zur hydraulisch wirksamen Auflockerungszone um Endlagerbereiche im Salinar in Abhängigkeit vom Hohlraumabstand und Spannungszustand                           | 📖 12  |
| 02 E 9138 | Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des geochemischen Milieus in hochsalinaren Lösungen   | 📖 14  |
| 02 E 9148 | Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransports  | 📖 16  |
| 02 E 9178 | Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)  | 📖 18  |
| 02 E 9198 | Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel (Phase V)   | 📖 20  |
| 02 E 9239 | Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern   | 📖 22  |
| 02 E 9269 | Abschließende Auswertung des Projektes „Thermische Simulation der Streckenlagerung / Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar“ | 📖 28  |

- 02 E 9279 Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“  30
- 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  50
- 02 E 9400 Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung im Boom Clay in Mol im Projekt: "Integrated in Situ Corrosion Test on Alpha-Active High Level Waste Glass - Phase 2" CORALUS 2  52
- 02 E 9420 Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Allovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP  56
- 02 E 9430 Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin, Mitarbeit in der Task Force "EBS" des HRL Äspö  58
- 02 E 9440 Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers  60
- 02 E 9461 Untersuchung der chemischen und hydrochemischen Wechselwirkungen von Ton/Zement-Systemen; ECOCLAY - Phase II  64
- 02 E 9541 Vorprojekt zur Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im URL Bure  80
- 02 E 9501 Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinustons im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor  72
- 02 E 9551 Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen  82
- 02 E 9561 Modellentwicklung zur Quellung hochkompaktierter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 - 120°  84
- 02 E 9592 Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2  90
- 02 E 9602 Untersuchungen zur Gaserzeugung und -freisetzung sowie dem Wassergehalt und der Wasserumverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels  92
- 02 E 9622 Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein  96

<p><b>GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH &amp; Co. KG, Straße der Einheit 9, 06179 Teutschenthal</b></p>
---

- 02 C 0942 Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV  148

<b>IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig</b>
---

- |           |   |       |
|-----------|---|-------|
| 02 C 0649 | Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von UTD in Salzformationen der flachen Lagerung im Zusammenhang mit dem Verformungs- und Bruchverhalten -Phase III- | 📖 110 |
| 02 C 0892 | Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen                  | 📖 140 |
| 02 E 9259 | Untersuchung des Spannungszustandes und des gebirgsmechanischen Verhaltens von Versatz und Wirtsgestein in Abhängigkeit von der Temperatur                | 📖 26  |
| 02 E 9582 | Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2                                  | 📖 88  |

<b>Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30631 Hannover</b>
---

- |           |  |       |
|-----------|--|-------|
| 02 C 0871 | Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Elektromagnetik, Georadar, Quantitative Charakterisierung von Problemzonen | 📖 136 |
|-----------|--|-------|

<b>Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstr. 15, 04318 Leipzig</b>
--

- |           |  |       |
|-----------|--|-------|
| 02 C 0709 | Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen/anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle  | 📖 116 |
| 02 E 9329 | Komplexierung und Migration von Al, Ga, In, Sc, Y, La und Schwermetallen mit Huminsäure  | 📖 38  |
| 02 E 9380 | Migrations- und Sorptionsuntersuchungen geogener Lösungen in Wirtsgesteinsformationen (Tone, Tongestein, Salzgestein) mittels tomographischer Radiotracerverfahren (PET) | 📖 48  |

<b>Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55099 Mainz</b>
---

- |           |   |      |
|-----------|---|------|
| 02 E 9309 | Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nichtradioaktiven Stoffen | 📖 36 |
|-----------|---|------|

<b>K+S Aktiengesellschaft, Friedrich-Ebert-Str. 160, 34111 Kassel</b>
---

- |           |   |       |
|-----------|---|-------|
| 02 C 0516 | Schachtverschlüsse für untertägige Deponien in Salzbergwerken -Forschungsvorhaben Schachtverschluss Salzdetfurth Schacht SA II- | 📖 104 |
|-----------|---|-------|

<b>Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99404 Weimar</b>
--

- |           |   |       |
|-----------|---|-------|
| 02 C 0800 | Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung | 📖 122 |
|-----------|---|-------|

**TU Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09596 Freiberg**

- 02 C 0547 Entwicklung eines Grundkonzepts für langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke im Salinar -Bau und Test eines Versuchsverschlussbauwerkes unter realen Bedingungen 106
- 02 C 0820 Zeitliche Veränderungen der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften 126
- 02 C 0902 Wissenschaftlich-technisches Programm für den Rückbau des in situ getesteten Versuchsverschlussbauwerkes in der Grube Sondershausen 142
- 02 E 9330 Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen 40

**TU Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2A, 38670 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 120
- 02 C 0841 Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten 130
- 02 C 0952 Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge 150
- 02 E 9410 Transport und Rückhaltung von Schadstoffen in alterierten Kluffbereichen des HRL Äspö 54
- 02 E 9632 Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein 98

**Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München**

- 02 E 9360 Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden 44
- 02 E 9450 Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden 62

**Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover**

- 02 E 9481 Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren 68

**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 146

**Universität Leipzig, Ritterstraße 26, 04009 Leipzig**

- 02 C 0861 Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geoelektrik, Seismik, Geologie 134

**Universität Stuttgart, Keplerstraße 7, 70049 Stuttgart**

**02 E 9370**

Weiterentwicklung von Simulationstechniken für Gas-Wasser-  
Prozesse in geklüftet-porösen Medien auf der Feldskala  46