

# **Forschungszentrum Karlsruhe Technik und Umwelt**

## **PTE Nr. 20**

Bericht über die im zweiten Halbjahr 2000  
vom BMBF und BMWi geförderten FuE-Arbeiten zur  
„Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen“

Projektträgerschaft Wassertechnologie und Entsorgung  
im Auftrag des  
Bundesministeriums für Bildung und Forschung  
und des  
Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH**  
**Februar 2001**

## **PTE-Berichte**

Der vorliegende Bericht dient der aktuellen Unterrichtung der Forschungsstellen, die im Rahmen des Förderkonzeptes „Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen“ FuE-Arbeiten durchführen, sowie der zuständigen Behörden.

Die im Rahmen des Förderkonzeptes „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“ durchgeführten FuE-Arbeiten werden ab 2001 in einer gesonderten Fortschrittsbericht-Reihe (S-Berichte) zusammengestellt.

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren bzw. die entsprechenden Forschungsstellen. Die Forschungszentrum Karlsruhe GmbH übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.

## Vorwort

Die Forschungszentrum Karlsruhe GmbH hat im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) die Durchführung der Projektträgerschaft für den Programmbereich „Entsorgung“ übernommen.

Dieses umfasst das Förderkonzept „Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen“. 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 fachlich und administrativ die vom BMBF und BMWi im Rahmen des Förderkonzeptes geförderte FuE-Vorhaben. Die Betreuung der FuE-Vorhaben erfolgt für folgende Referate in den beiden Ministerien:

Endlagerung radioaktiver Abfälle	BMWi Referat III B3
Untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle	BMBF Referat 421
Altlasten in Bergschadensgebieten	BMBF Referat 421
Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung	BMWi Referat III B4

**Der vorliegende Projektfortschrittsbericht dokumentiert Stand und Ergebnisse dieser FuE-Vorhaben.** Er wird vom Projektträger *halbjährlich* herausgegeben, um alle Beteiligten über die durchgeführten Arbeiten zu informieren.

Dem Bericht liegt folgendes Gliederungsprinzip zugrunde:

Im *Teil 1* sind die FuE-Vorhaben dem jeweiligen Förderkonzept zugeordnet.

Im *Teil 2*, dem Hauptteil, sind die „formalisierten Zwischenberichte“ der FuE-Vorhaben, geordnet nach Förderkennzeichen, aufgeführt. Im Förderkennzeichen stehen die Buchstaben

- E ⇒ „Endlagerung radioaktiver Abfälle“,
- C ⇒ „Untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle“ und „Altlasten in Bergschadensgebieten“,
- W ⇒ „Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung“,

Die vom BMWi betreuten FuE-Vorhaben, die sogenannten Hausvorhaben, sind mit der Buchstabenfolge KWA gekennzeichnet.

Im *Teil 3* sind die FuE-Vorhaben den jeweils ausführenden Forschungsstellen zugeordnet.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Förderkonzepten.....</b>	<b>1</b>
1.1 ENTSORGUNG GEFÄHRLICHER ABFÄLLE IN TIEFEN GEOLOGISCHEN FORMATIONEN .....	1
1.1.1 Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten .....	1
1.1.2 Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien .....	3
1.1.3 Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung .....	9
1.1.4 Altlasten in Bergschadensgebieten .....	11
<b>2 Formalisierte Zwischenberichte .....</b>	<b>13</b>
2.1 E-VORHABEN .....	13
2.2 C-VORHABEN .....	93
2.4 W-VORHABEN .....	157
<b>3 Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....</b>	<b>167</b>



# 1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Förderkonzepten

## 1.1 Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen

### 1.1.1 Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten

<b>02 C 0516</b>	Schachtverschlüsse für untertägige Deponien in Salzbergwerken - Forschungsvorhaben Schachtverschluss Salzedfurth Schacht SA II	<b>Kali und Salz Beteiligungs AG Kassel</b>	📖 94
<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>	📖 100
<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>	📖 152
<b>02 C 0810</b>	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 154
<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>	📖 23
<b>02 E 9188</b>	Untersuchungen zur Gas- und Wasserfreisetzung und der Wasserverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 37
<b>02 E 9350</b>	Vergleichende Bewertung von Entsorgungsoptionen für radioaktive Abfälle	<b>Gruppe Ökologie, Hannover</b>	📖 70
<b>KWA 9901</b>	Unterstützungsprogramm Granit	<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b>	📖 163



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

<b>02 C 0527</b>	In-situ-Ermittlung von Strömungskennwerten natürlicher Salzgesteine in Auflockerungszonen gegenüber Gas und Salzlösungen unter den gegebenen Spannungsbedingungen im Gebirge	<b>TU Bergakademie Freiberg</b>	📖 96
<b>02 C 0537</b>	Entwicklung und In-situ-Test akustischer Verfahren zur zerstörungsfreien Beurteilung von Auflockerungszonen im Salinar	<b>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München</b>	📖 98
<b>02 C 0558</b>	Komplexes Mess- und Auswerteinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und UTD im Salinar - Geologie, Einbeziehung von Geoelektrik und Seismik	<b>Universität Leipzig</b>	📖 102
<b>02 C 0568</b>	Komplexes Mess- und Auswerteinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponien im Salinar; Einbeziehung von Sonarverfahren	<b>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München</b>	📖 105
<b>02 C 0578</b>	Komplexes Mess- und Auswerteinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und UTD im Salinar - Einbeziehung elektromagnetischer Verfahren	<b>Nieders. Landesamt für Bodenforschung -Geowissenschaftl. Gemeinschaftsaufgaben-, Hannover</b>	📖 107
<b>02 C 0588</b>	Mechanische und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen des grubenraumnahen Gebirges in Verbindung mit der Planung von Damm- und Verschlussbauwerken im Salinar –Teil A: Mechanische Modellbildung und mechanisch-hydraulische Tragwerksanalyse-	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 109
<b>02 C 0598</b>	Mechanische und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen des grubenraumnahen Gebirges in Verbindung mit der Planung von Damm- und Verschlussbauwerken im Salinar –Teil B: Hydraulische Modellbildung-	<b>TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 111
<b>02 C 0608</b>	Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponiefeld einer UTD (Geochemische Barriere)	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 113
<b>02 C 0618</b>	Erstellung einer Datenbank zur Bestandsaufnahme und Bewertung geochemischer Informationen zum Verhalten von Abfallinhaltsstoffen im Deckgebirge einer UTD/UTV (Sorptionsdatenbank Chemieabfälle)	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 115

02 C 0628	Modellrechnungen zur großräumigen dichteabhängigen Grundwasserbewegung	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	117
02 C 0639	Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar	IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	119
02 C 0649	Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von UTD in Salzformationen der flachen Lagerung im Zusammenhang mit dem Verformungs- und Bruchverhalten –Phase III-	IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	121
02 C 0659	Langzeitstabilität von Tondichtungen in Salzformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	123
02 C 0669	Hydraulische Kennwerte von tonhaltigen Mineralgemischen zum Verschluss von Untertagedeponien	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	125
02 C 0679	Erstellung und Nutzung einer Datenbank zur Bestandsaufnahme und Bewertung methoden-abhängiger Informationen zum Mobilisationsverhalten und zum Schadstoffpotential von organisch und anorganisch belasteten Feststoffen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	128
02 C 0689	Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	130
02 C 0699	Untersuchungen zur Entwicklung, Anwendung und Eignung von mineralischen Gelen und Bindemittelsystemen auf Sorelbasis zur Einbettung und Sorption schadstoffhaltiger Abfallstoffe und zur Verbesserung der Barrierewirkung von Versatz	Kali-Umwelttechnik GmbH Sondershausen	132
02 C 0709	Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen/anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle	Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Leipzig	134
02 C 0710	Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	136
02 C 0720	Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverteilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	138
02 E 8986	Untersuchungen zur geochemischen Stabilität von Tonen in Endlagern und Untertagedeponien im Salzgestein	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	14

02 E 9057	Wirksamkeit der Abdichtung von Versatzmaterialien – Technikums- und In-situ-Versuche am Dreistoffsystem polymineralisches Salzgestein-Versatzstoff-Fluid-	<b>Kali-Umwelttechnik GmbH Sondershausen</b>	📖 16
02 E 9098	Entwicklung und Erprobung von zerstörungsfreien seismischen In-situ-Methoden zur Beurteilung der geomechanischen und hydraulischen Gebirgseigenschaften in der Umgebung untertägiger Hohlräume in Endlagerformationen	<b>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover</b>	📖 19
02 E 9108	Untersuchungen zur Radionuklidfreisetzung und zum Korrosionsverhalten von bestrahltem Kernbrennstoff aus Forschungsreaktoren unter Endlagerbedingungen	<b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b>	📖 21
02 E 9128	Tertiäre Sedimente als Barriere für die U/Th-Migration im Fernfeld von Endlagern	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 25
02 E 9138	Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des geochemischen Milieus in hochsalinaren Lösungen	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 27
02 E 9148	Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransportes	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 29
02 E 9158	Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN)	<b>IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>	📖 31
02 E 9168	Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Gebirgsspannungsumlagerungen (BARIAN)	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 33
02 E 9178	Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 35
02 E 9198	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>	📖 39
02 E 9208	Felslabor Grimsel (Phase V): Effektive Parameter (EFP) -Begleitende geoelektrische Untersuchungen-	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 41
02 E 9218	Deutsch-Schweizerische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung (Felslabor Grimsel Phase V). Teilprojekt I: Effektive Parameters (EFP); Teilprojekt II: Numerical Calculation of Two-Phase Flow.	<b>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover</b>	📖 43
02 E 9239	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 45

02 E 9249	Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt des Nachweises der Betriebssicherheit in einem Endlager	<b>Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE), Peine</b>	📖 47
02 E 9259	Untersuchung des Spannungszustandes und des gebirgsmechanischen Verhaltens von Versatz und Wirtsgestein in Abhängigkeit von der Temperatur	<b>IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig</b>	📖 49
02 E 9269	Abschließende Auswertung des Projektes „Thermische Simulation der Streckenlagerung / Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar“	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 51
02 E 9279	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 68
02 E 9289	Versuchsfeldaufwältigung und Rückgewinnung von Materialproben und Messeinrichtungen	<b>Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE), Peine</b>	📖 55
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	<b>FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Schönfeld-Weißig</b>	📖 57
02 E 9309	Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nichtradioaktiven Stoffen	<b>Johannes Gutenberg-Universität, Mainz</b>	📖 60
02 E 9319	Erweiterung der Datenbasis zur thermodynamischen Modellierung der Reaktionen CaSO <sub>4</sub> -haltiger Minerale und des Glaserits bei Temperaturen bis 200°C	<b>TU Bergakademie, Freiberg</b>	📖 62
02 E 9329	Komplexierung und Migration von Al, Ga, In, Sc, Y, La und Schwermetallen mit Huminsäure	<b>Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Leipzig</b>	📖 64
02 E 9330	Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen	<b>TU Bergakademie Freiberg</b>	📖 66
02 E 9340	Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen	<b>Battelle Ingenieurtechnik GmbH, Frankfurt</b>	📖 68
02 E 9360	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden	<b>TU München</b>	📖 72
02 E 9370	Weiterentwicklung von Simulationstechniken für Gas-Wasser-Prozesse in geklüftet-porösen Medien auf der Feldskala	<b>Universität Stuttgart</b>	📖 74

02 E 9380	Migrations- und Sorptionsuntersuchungen geogener Lösungen in Wirtsgesteinsformationen (Tone, Tongestein, Salzgestein) mittels tomographischer Radiotracerverfahren (PET)	<b>Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Leipzig</b>	📖 76
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	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 78
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" CORALLUS 2	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 80
02 E 9410	Transport und Rückhaltung von Schadstoffen in alterierten Kluftbereichen des HRL Äspö	<b>TU-Clausthal, Clausthal-Zellerfeld</b>	📖 82
02 E 9420	Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Allovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 84
02 E 9430	Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin, Mitarbeit in der Task Force "EBS" des HRL Äspö	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 86
02 E 9440	Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 88
02 E 9450	Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden	<b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln</b>	📖 90



### 1.1.3 Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung

- |                  |  |                                      |   |
|------------------|--|--------------------------------------|---|
| <b>02 W 6218</b> | Entwicklung digitaler Safeguardstechniken zur Verbesserung der Effektivität und der Kosteneffizienz und Anpassung an das neue Safeguardssystem INFCIRC/540 | <b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b> |  158 |
| <b>02 W 6228</b> | Das "gestärkte Safeguardssystem" und die Nichtverbreitungs-Herausforderungen –Perspektiven und innovative Lösungsansätze-                                  | <b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b> |  161 |



### 1.1.4 Altlasten in Bergschadensgebieten

<b>02 C 0730</b>	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 1: Gesamtprojektkoordinierung, geochemische Untersuchungen und Monitoring	<b>BGR Hannover</b>	 140
<b>02 C 0740</b>	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 2: Gebirgsmechanische Analyse des Bergschadensgebietes Staßfurt	<b>TU Clausthal</b>	 142
<b>02 C 0750</b>	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 3: Bergschadensbewertung, Geohydraulik und Sanierungsmaßnahmen	<b>K-UTEC Sondershausen</b>	 144
<b>02 C 0760</b>	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 4: Thermodyn. Modellierung, Abdichtungssysteme von Altablagerungen, Gesamtbewert. Gefährdungspotential	<b>Brandenburgische TU, Cottbus</b>	 146
<b>02 C 0770</b>	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 5: Struktur- und hydrogeol. Analyse im Bergschadensgebiet Staßfurt - Entwicklung hydraulischer Sicherungs- und Sanierungskonzepte	<b>IHU Geologie und Analytik Gesellschaft f. Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH, Stendal</b>	 148
<b>02 C 0780</b>	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 6: Geophysikalische Erkundung - Seismik	<b>Geophysik GGD - Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste mbH, Leipzig</b>	 150



## **2 Formalisierte Zwischenberichte**

### **2.1 E-Vorhaben**

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 8986</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur geochemischen Stabilität von Tonen in Endlagern und Untertagedeponien im Salzgestein			
<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> vom 01.07.1996 bis 31.12.2000		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.411.405,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Herbert	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es werden experimentelle und theoretische Grundlagen für die Beschreibung des mineralogisch-geochemischen Verhaltens von Tonen im Kontakt zu hexären Salzlösungen geschaffen. Ein theoretisches Modell wird erstellt, das es erlaubt, den Wassereinbau und das Quellverhalten von Tonen im Kontakt mit Salzlösungen unterschiedlicher Konzentration rechnerisch zu ermitteln. Das Modell wird auf Messungen der Veränderungen des Ionenbesatzes in hexären Salzlösungen mit unterschiedlichen Konzentrationsverhältnissen zwischen jeweils zwei Kationen beruhen und soll durch Messungen in endlagerrelevanten hexären Na-K-Ca-Mg-Cl-SO<sub>4</sub>-Lösungen validiert werden. Untersucht und quantifiziert werden die mineralogisch-geochemischen Eigenschaften von quellfähigen und nichtquellfähigen Tonen. Aus dem Vergleich der Eigenschaften werden Aussagen zur Stabilität von Tonen in Endlagern und Untertagedeponien in Salzformationen abgeleitet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben umfasst zwei Arbeitspakete:

### AP1: Praktische Arbeiten

- 1.1 Beschaffung des Probenmaterials (Na-Bentonit, Ca-Bentonit, Illit und Fe-Chlorit)
- 1.2 Aufbereitung und Charakterisierung des Probenmaterials
- 1.3 Planung und Durchführung der Versuche zur Erstellung der Austauschisothermen mit den unterschiedlichen Tonen und den unterschiedlichen Salzlösungen
- 1.4 Messung des Wassereinbaus

### AP2: Theoretische Arbeiten

- 2.1 Erstellung eines theoretischen Modells und eines Rechenprogramms zur Auswertung der Messergebnisse, Erstellung der Austauschisothermen
- 2.2 Erstellung eines Formalismus zur Berechnung von Selektivitätskoeffizienten zur Quantifizierung des Kationeneinbaus in die Zwischenschichten und an den Außenflächen
- 2.3 Berechnung des Wassereinbaus in die Zwischenschichten
- 2.4 Korrelierung des Ioneneinbaus mit dem Wassereinbau und mit Ergebnissen von Quelldruckmessungen
- 2.5 Vergleich der Ergebnisse für die unterschiedlichen Tone und Ableitung von Aussagen zur Stabilität

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Die Arbeiten in Freiberg zur Ermittlung der Quelldrucke von MX-80 mit unterschiedlichen Salzlösungen wurden abgeschlossen. Eine eigene GRS-Apparatur zur Bestimmung von Quelldrucken an kleinen zylindrischen Probekörpern wurde aufgebaut und erfolgreich getestet. Mit der neuen Apparatur steht auch ein neues Verfahren zur Verfügung, das es ermöglicht, schnellere und trotzdem genaue Quelldruckmessungen bei Umgebungs- und erhöhten Temperaturen durchzuführen. Weiterhin wurde eine Apparatur für quaderförmige Probekörper konzipiert, die es künftig erlauben wird, den Einfluss unterschiedlicher Geometrien und unterschiedlicher Größen der Probekörper zu quantifizieren.

### **4. Ergebnisse**

Die Ergebnisse der geochemischen Untersuchungen haben einen quantifizierbaren Zusammenhang zwischen dem Kationenaustausch, der Zwischenschichtaufweitung und dem Wassergehalt in den Zwischenschichten der Smektiten ergeben. Dagegen konnte noch kein belastbarer Zusammenhang zwischen Lösungszusammensetzung und Quelldruck abgeleitet werden. Dafür reicht die Anzahl der in Freiberg durchgeführten Messungen und die dabei erreichte Reproduzierbarkeit nicht aus. Mehr Messungen waren während der Projektlaufzeit wegen der z. T. sehr langen Versuchszeiten, von bis zu einem Jahr pro Versuch, nicht durchführbar. Dies war der Auslöser für die zunächst nicht vorgesehenen Arbeiten, die schließlich zu einem schnelleren GRS-Quelldruckmessverfahren führten. Mit diesem neuen Verfahren wurden inzwischen reproduzierbare und mit den Ergebnissen aus Freiberg vergleichbare Ergebnisse erzielt. Das im Vorhaben angestrebte Ziel eines Modells zur Berechnung der Quelldrucke wurde aus den o. g. Gründen nicht ganz erreicht. Die dafür notwendigen geochemischen Daten liegen vor. Die dazugehörigen Quelldruckdaten müssen allerdings noch statistisch abgesichert werden.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Das Forschungsvorhaben ist am 31.12.2000 zu Ende gegangen. Sinnvoll wäre eine Fortführung der Quelldruckmessungen mit dem neuen Verfahren. Es ist abzusehen, dass nach einer kurzen Erprobungsphase mit diesem Verfahren Quelldrucke für alle relevanten Lösungszusammensetzungen sowohl richtungsabhängig, durch Druckmessungen parallel und senkrecht zur Schichtung, als auch temperaturabhängig ermittelt und statistisch abgesichert werden können.

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

Eine neue Quelldruckmessapparatur für schnelle und genaue, sowohl richtungs- als auch temperaturabhängige Quelldruckmessungen wurde entwickelt und getestet. Eine Schutzrechtsanmeldung ist in Vorbereitung.

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

Herbert, H.-J. and Moog, H. C. (2000) Modeling of saturation and swelling effects in clays under different saline conditions. – Proceedings der Tagung EUROSAFE 2000 "Forum for nuclear safety", Band Waste Management, 6. - 7. November, Köln, unter [www.grs.de/veranstaltungen/](http://www.grs.de/veranstaltungen/) als pdf File abrufbar.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> K-UTEC , Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9057</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Wirksamkeit der Abdichtung von Versatzmaterialien -Technikums- und In-situ-Versuche am Dreistoffsystem polymineralisches Salzgestein-Versatzstoff-Fluid-		
<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> vom 01.01.1998 bis 31.07.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.650.520,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. Scherzberg	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gegenstand des Vorhabens sind grundlegende Untersuchungen zur abdichtenden Wirkung von Versatzmaterial. Dabei soll untersucht werden, unter welchen Bedingungen eingebrachtes Versatzgut eine zusätzliche Barriere gegen eindringende Fluide bildet. Es werden Technikums und In-situ-Versuche am System polymineralisches Salzgestein - Versatzstoff - Fluid durchgeführt. Das Vorhaben ist arbeitsteilig mit einem tangierenden Vorhaben der GRS Braunschweig angelegt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

#### Arbeitspaket 1:

Technikumsuntersuchungen an Prüfkörpern zur Bestimmung von Intensität und Richtungsabhängigkeit des Lösungsangriffs von Fluiden auf Systeme verschiedener Salzgesteine

#### Arbeitspaket 2:

Technikumsuntersuchungen an stofflichen Modellen zur Bestimmung von Intensität und Richtungsabhängigkeit des Lösungsangriffs von Fluiden auf Systeme verschiedener Salzgesteine und Versatzstoffe

#### Arbeitspaket 3:

Untersuchungen des Verhaltens von Versatzstoffen in Kontakt mit Salzgesteinen mit und ohne Fluideinwirkung unter In-situ-Bedingungen in einem Versatzbergwerk

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Beendigung der Löseversuche entsprechend AP 2.1 und deren Auswertung.
- Beendigung der Standversuche AP 2.4.
- Untersuchungen für das AP 3. Die Versuche mit den Drucksäulen wurden planmäßig fortgeführt. Die Versuchsdurchführung beinhaltete unterschiedliche Gelrezepturen, wobei ein Schwerpunkt der Aufbau des Gelkörpers in der Säule selbst war. Praktiken wie Ansatz einer Trockenmischung aus Salz und Bindemittel mit nachträglichem Einbringen der fluiden Phase oder die Fertigung von Stampfmischungen wurden erprobt. Die dabei angewendete Druckbeaufschlagung mit NaCl-Lösung auf den ausgehärteten Gelkörpern erfolgte bei allen Versuchen analog, um vergleichbare Versuchsergebnisse zu erhalten.

- Beendigung und Auswertung der Versickerungsversuche zur  $k_F$ -Wert Bestimmung in länger abgelagertem und frisch eingebrachten Pumpversatz
- Dokumentation des Nachweises des Langzeitverhaltens von Altversatz in der Grube Bleicherode wurde fortgesetzt
- Beendigung und Auswertung der Stabilitätsversuche mit 4 verschiedenen Versatzstoffen unter Fluidangriff in der Grube Bischofferode
- Beendigung und Auswertung der 4 Versuche zur Ermittlung der Abdichtwirkung von Versatz im  $m^3$  Maßstab mit und ohne Salzgrus in der Grube Bleicherode
- Fortsetzung der Versuche in Zusammenarbeit mit der GRS – Braunschweig. In diesen Versuchen werden Hartsalzpresslinge in Standversuchen in Kontakt mit einer Lauge mit vorgegebener Konzentration gebracht. Es wird ein zu erwartender Selbstversatz durch Volumenzunahme der festen Phase untersucht.

#### 4. Ergebnisse

AP 1: Ist abgeschlossen und wissenschaftlich ausgewertet.

AP 2.1: Die bereits ausgewerteten Versuche zeigen, dass beim gleichzeitigen Fluidangriff an einen Salz- und einen Versatzkörper eindeutig das Salzgestein das schwächste Glied ist. Das heisst, dass die Auflösung des Versatzes neben einem Salzkörper fast nicht zu beobachten ist. Allerdings zeigen sich z.B. am Pumpversatz leichte Umkristallisierungen, welche sich jedoch auf Grund der Kürze der Versuche im Solsimulator kaum bzw. gar nicht auf die Lösegeschwindigkeit des Salzes auswirken. Diese Versuche wurden abgeschlossen und werden ausgewertet.

AP 2.2, 2.3: Ist abgeschlossen und wissenschaftlich ausgewertet.

AP 2.4: Es wurden weitere Ergebnisse der Langzeituntersuchungen gewonnen. Der Lösefortschritt kam während der Untersuchungen nahezu zum Stillstand. Die Einwirkung der Fluide wurde mittels Analysen und fotografisch festgehalten. Die Untersuchungen der Beschaffenheit der sich neu bildenden Salze findet im Labor der KUTEC statt.

Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die natürlichen Salzgesteine (Carnallit und Hartsalz) in Abhängigkeit des Fluidangriffes (M- bzw. Q-Lösung) teilweise mehr entfestigen, als die ausgewählten Versatzstoffe. Am widerstandsfähigsten zeigte sich hierbei der verwendete Gelkörper.

AP 3: Es konnte bei den durchgeführten Versickerungsversuchen und bei den Versuchen zur Abdichtwirkung des Versatzes im  $m^3$  Maßstab festgestellt werden, dass eine sehr gute Abdichtwirkung verbunden mit niedrigen  $k_F$ -Werten zwischen  $10^{-6}$  und  $10^{-7}$  m/s erreicht wurde.

Diese Ergebnisse konnten auch durch den weiteren Säulenversuchen bestätigt werden. Die gewonnenen  $k_F$ -Werte bestätigen die Abdichtwirkung der Versatzstoffsysteme.

Die Spannungs/Deformationsmessungen an Altversatz zeigen eine beträchtliche Abnahme der Spannungszunahme im Gebirge, so dass eindeutig die Stabilisierungswirkung von Versatz nachgewiesen werden kann.

Es konnte gezeigt werden, dass sich Gelsysteme als abdichtender Versatz in offenen salinaren Hohlräumen eignen und somit einen sicheren Abschluss im Falle eines Fluideinbruches darstellen.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

Weiterarbeiten wie im Arbeitsplan angegeben.

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

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> BGR, Stilleweg 2, 30655 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9098</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung und Erprobung von zerstörungsfreien seismischen In-situ-Methoden zur Beurteilung der geomechanischen und hydraulischen Gebirgseigenschaften in der Umgebung untertägiger Hohlräume in Endlagerformationen		
<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> vom 01.07.1998 bis 31.12.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 734.007,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Lüdeling

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zerstörungsfreie Erforschung von Auflockerungszonen (Excavated Disturbed Zones, EDZ) mit Hilfe seismischer Methoden.

Weiterentwicklung von hochauflösenden reflexions- und refraktionsseismischen Verfahren zur petrophysikalischen Charakterisierung der EDZ.

Mitarbeit im internationalen Mont-Terri-Projekt (Schweiz) und Zusammenarbeit mit der Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) im Untertagelabor Äspö (Schweden), der SCK-CEN (Studiecentrum voor Kernenergie - Centre D'Etude de L'Energie Nucleaire) im Untertagelabor Mol (Belgien) sowie Mitarbeit im Projekt „Stofftransport in geklüftetem Fels / Gebirgscharakterisierung im Stollennahbereich“ im Felslabor Grimsel.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### AP A „Salz“:

Durchführung seismischer Messungen im Salzbergwerk Asse und an den Standorten Gorleben und Morsleben. Insbesondere Bestimmung der Dämpfungseigenschaften. Wiederholungsmessungen zur Kontrolle des Langzeitverhaltens der EDZ. Untersuchungen zur Korrelation zwischen seismischen Parametern und der Permeabilität.

### AP B „Kristallin“:

Durchführung seismischer Messungen (Bohrlochseismik, Reflexions-, Refraktionsseismik) im Untertagelabor Äspö in Zusammenarbeit mit dem Vorhaben „Zweiphasenfluss-Experimente im geklüfteten, wasserführenden Kristallin“ sowie im Felslabor Grimsel. Untersuchungen zur Korrelation zwischen seismischen Parametern und der Permeabilität.

### AP C „Sedimentgestein“:

Durchführung seismischer Messungen (Bohrlochseismik) im Untertagelabor Mont Terri im internationalen Projekt sowie im Untertagelabor Mol. Untersuchungen zur Korrelation zwischen seismischen Parametern und der Permeabilität. Wiederholungsmessungen zur Kontrolle des Langzeitverhaltens der EDZ (u.a. Ermittlung von Korrelationen mit dem Spannungsfeld).

### AP D „Synthese“:

Zusammenfassende Beschreibungen und vergleichende Bewertungen.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Anpassung der vielkanaligen Apparatur inkl. Verstärker und Zubehör für den Untertageinsatz im Salz. Anpassung seismischer Auswertesoftware. Im Forschungsbergwerk Asse wurden auf der 490 m - und 574 m Sohle refraktionsseismische Messungen mit der modifizierten vielkanaligen Apparatur durchgeführt. Die Messungen erfolgten zerstörungsfrei jeweils vom Stoß aus. Es wurden verschiedene seismische Quellen und Empfänger eingesetzt.

Datenauswertung und Präsentation von Ergebnissen. Entwicklung und Bau einer mechanischen Impulsquelle. Modifikationen an der kommerziellen Impulsquelle (Prallhammer), Durchführung von Tests. Seismische Bohrlochmessungen (Intervallgeschwindigkeiten und Cross hole) in Mol, Belgien (plastische Tonformation) in einer frisch aufgefahrenen Kammer.

### **4. Ergebnisse**

Erste, rein qualitative Analysen der refraktionsseismischen Testmessungen im FB Asse zeigen die Auflockerungszone in Form erniedrigter Geschwindigkeiten.

Durch Intervallgeschwindigkeits- und Cross-hole-Messungen in Mol (Belgien) konnte die Auflockerungszone durch Geschwindigkeits- und Amplitudenanomalien bestimmt werden.

Auswertungen von Cross-hole-Messungen aus dem FL Mont Terri (Schweiz) zeigen seismische Anisotropie. Ergebnisse von Wiederholungsmessungen im PL Mont Terri zur Intervallgeschwindigkeitsbestimmung im Bohrloch weisen z.T. markante Unterschiede auf.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Geringfügige Modifikationen an der vielkanaligen Apparatur und Durchführung refraktions/reflexionsseismischer Messungen im PL Mont Terri (Opalinuston) und im EL Grimsel (Kristallin). Erstellung des Abschlussberichts.

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

keine

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

Schuster, K., H.-J. Alheid and D. Böddener: Seismic Investigation of the Excavation Damaged Zone (EDZ) in the Opalinus Clay. Journal of Engineering Geology, Elsevier, 2000, submitted.

Schuster, K. and H.-J. Alheid: Seismic Measurements in Lined and Unlined Sections of a Drift in the Asse Research Mine. Proceedings 6<sup>th</sup> Meeting Environmental and Engineering Geophysics, Sept. 3-7, 2000, Bochum, Germany.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZ-Jülich, 52425 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9108</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Radionuklidfreisetzung und zum Korrosionsverhalten von bestrahltem Kernbrennstoff aus Forschungsreaktoren unter Endlagerbedingungen			
<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> vom 01.06.1999 bis 31.05.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.424.962,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Fachinger	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für die in der Bundesrepublik Deutschland betriebenen Forschungsreaktoren wird die direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente als nationale Entsorgungsalternative zur Wiederaufarbeitung diskutiert. Die in Deutschland derzeit favorisierten Endlagerformationen sind geologisch stabile Salinare, aber auch die Lagerung in granitischen Formationen ist denkbar. Bei beiden Endlagervarianten ist das Langzeitverhalten der Brennelemente in den wässrigen Phasen der jeweiligen Gesteinsformation für die Sicherheitsanalyse von Bedeutung. Im Rahmen dieses Vorhabens soll das Verhalten von Forschungsreaktorbrennelementen in endlagertypischen Lösungen untersucht werden. Ziel des Vorhabens ist die Ermittlung von Daten, die einen Beitrag zur Formulierung eines Quellterms für Freisetzungsberechnungen liefern.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Beurteilung des Korrosionsverhaltens unterschiedlicher Forschungsreaktorbrennelemente.
2. Korrosionsverhalten von Forschungsreaktorbrennelementestrukturmaterien in endlagerrelevanten aquatischen Phasen.
3. Auslaugung bestrahlter Forschungsreaktorbrennelemente mit korrosiven aquatischen Phasen.
4. Auslaugexperimente zur Remobilisierung von Radionukliden aus Korrosionsrückständen der MTR-BE.
5. Charakterisierung von Korrosionsprodukten aus Forschungsreaktorbrennelementestrukturmaterien.
6. Sorption von Radionukliden an Korrosionsprodukten.
7. Erstellen eines Abschlussberichts.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Zu 2: Die ersten zwei Korrosionsexperimente, die in Gegenwart von Eisen durchgeführt wurden, wurden abgeschlossen. Die entstandenen sekundären Phasen wurden isoliert und für die Arbeiten im AP 5 bereitgestellt.

- Zu 3: Die vier Auslaugversuche wurden fortgesetzt. Die sekundären Phasen des abgeschlossenen Auslaugversuches wurden isoliert und für weitere Remobilisierungsversuche vorbereitet.
- Zu 4: Die Versuchseinrichtung zur Remobilisierung von Nukliden aus Sekundärphasen wurde in der Zelle so weit wie möglich überholt.
- Zu 5: Die erste Serie von Fällungsversuche wurden abgeschlossen. Die Untersuchungen an den Korrosionsprodukten aus AP 2 wurden fortgeführt.
- Zu 6: Die Sorptionsversuche unter anaeroben Bedingungen mit verschiedenen Feststoffmatrices (Korund, Haematit und Magnetit) und Solventien wurden fortgeführt.

#### **4. Ergebnisse**

- Zu 3: Die Radionuklidmobilisierung in Granitwasser ist erwartungsgemäß deutlich geringer als in Salzlauge.
- Zu 4: Die vollständige Bilanzierung des ersten Remobilisierungsversuchs bestätigte die vorherigen Ergebnisse und es kann davon ausgegangen werden, dass in Lauge 2 keine Remobilisierung stattfindet. Die Frage nach der Langzeitstabilität dieser Phasen kann erst nach einer genaueren Charakterisierung der Struktur der sekundären Phasen erfolgen.
- Zu 5: Durch weitere Röntgenbeugungsuntersuchungen konnte die Hydrotalkhitphase eindeutig bestätigt werden. Die amorphen Anteile der sekundären Phasen sind vermutlich zum größten Teil Eisenhydroxide. Desweiteren konnte auch in den Versuchen mit  $\text{FeCl}_2$  elementares Eisen nachgewiesen werden. Dies ist die Bestätigung für den im Projekt 02E8654 postulierten Korrosionsmechanismus.
- Zu 6: Bei den Sorptionsuntersuchungen von Magnetit in Lauge 2 wurde festgestellt, dass Magnetit nicht stabil ist.

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

- Zu 2: Das Versuchsende der anderen Proben ist voraussichtlich im 3. Quartal 2001. Isolierung und Charakterisierung der Korrosionsprodukte bei den restlichen Versuchen.
- Zu 3: Fortführung der noch laufenden Auslaugexperimente bis Mitte 2001.
- Zu 4: Nachdem die vorbereitenden Arbeiten für die neuen Remobilisierungsexperimente abgeschlossen sind, soll im 1. Quartal mit der neuen Versuchserie begonnen werden.
- Zu 5: Synthese von Hydrotalkit. Weitere spektrometrische und röntgenographische Untersuchungen an den Korrosionsprodukten.
- Zu 6: Sorptionsuntersuchungen an Hydrotalkit. Fortführung der Untersuchungen von Haematit.

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

keine

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

- H. Curtius, J. Fachinger: Adsorption of radionuclides on aluminium oxide in a repository relevant brine, Proc. ICAM 2000, Göttingen, 17.-19. Juli 2000, Band 2, S. 503
- J. Fachinger, H. Curtius: Long term behaviour of direct disposed MTR fuel elements in saline brines; Applied Mineralogy, Proc. ICAM 2000, Göttingen, 17.-19. Juli 2000, Band 2, S. 531

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 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> vom 01.07.1998 bis 30.04.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.011.402,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Phys. Wieczorek	

## 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 Hohlraumerrstellung 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 geplanten 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 ist ein Teilprojekt des von der EU co-finanzierten Projektes BAMBUS II. Die Laufzeit wurde entsprechend der Laufzeit von BAMBUS II bis zum 30.04.2003 verlängert.

## 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

- AS2: Die Messungen zur spannungsabhängigen Permeabilität an einem Teil der Kernproben aus dem Bereich des Dammjochs auf der 700-m-Sohle wurden zunächst abgeschlossen. Weiter Laboruntersuchungen sind für 2002 geplant.
- AS4: Die Permeabilitätsmessungen in der Dammjochstrecke wurden weitergeführt; bis auf einige Kontrollmessungen sind sie abgeschlossen.
- AS5: Das System für Permeabilitätsmessungen im unmittelbaren Streckennahbereich wurde in der AHE-Strecke auf der 800-m-Sohle installiert. Bis auf den Anschluss der Datenerfassungsanlage ist das System komplett.
- AS8: Der dritte Versuchsort des Projekts wurde festgelegt, und zwar Kammer 8b auf der 553-m-Sohle.

### 4. Ergebnisse

- AS2: Die Kernproben aus dem Bereich des Dammjochs zeigen erwartungsgemäß eine deutliche Abhängigkeit der Permeabilität vom Einspanndruck, wobei außerdem die Permeabilität mit der Dauer der Einspannung geringer wird. Dabei liegt die Permeabilität der Proben aus dem mit Tübbing ausgebauten Bereich in der gleichen Größenordnung wie die der Proben aus der offenen Strecke.
- AS4: Die bisherigen Ergebnisse zur Permeabilität am Versuchsort Dammjoch, die im Bereich der offenen Strecke hinter dem Dammjoch eine ausgeprägte Auflockerungszone von 1.5 m Ausdehnung und Permeabilität bis über  $10^{-16} \text{ m}^2$  zeigen, während im Bereich des Tübbingausbaus keine signifikante Permeabilitätserhöhung feststellbar war, wurden bestätigt.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Die Permeabilitätsmessungen am Dammjoch werden abgeschlossen und an Kammer 8b begonnen. Die Überbohrversuche zur Spannungsbestimmung am Dammjoch und bei Kammer 8b werden ebenfalls im ersten Halbjahr 2001 durchgeführt. Mit dem System zur Permeabilitätsmessung im unmittelbaren Streckennahbereich werden Gasinjektionstests durchgeführt. Flüssigkeitsinjektionstests werden im zweiten Quartal 2001 erfolgen. Die In-situ-Messungen sollen weitgehend in 2001 abgeschlossen werden. In 2002 schließen sich Laboruntersuchungen, Auswertungen und Modellierung an.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9128</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Tertiäre Sedimente als Barriere für die U/Th-Migration im Fernfeld 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> vom 01.07.1998 bis 30.06.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.424.695,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Noseck	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Uran- und Thorium-Lagerstätten, speziell in der Umgebung sedimentärer Gesteine, können unter bestimmten Randbedingungen als natürliche Analoga für die Radionuklidrückhaltung im Fernfeld von Endlagern für radioaktive Abfälle herangezogen werden. Mit der Untersuchung solcher Vorkommen können Aussagen zum Langzeitverhalten der Radionuklidmigration in geologischen Formationen überprüft und ggf. ergänzt werden. Damit werden die sicherheitsanalytischen Modellrechnungen zu Freisetzung und Transport von Radionukliden im Deckgebirge eines Endlagers für radioaktive Abfälle unterstützt. Basierend auf Voruntersuchungen sollen am Standort Ruprechtov (CZ) und ggf. alternativen Standorten detaillierte hydraulische und geochemische Untersuchungen sowie begleitende Modellrechnungen durchgeführt werden, um die stattgefundenen geochemischen und Transportprozesse zu identifizieren und zu verstehen. Es soll überprüft werden, welche Ergebnisse auf deutsche Endlagerstandorte übertragbar sind und in Langzeitsicherheitsanalysen berücksichtigt werden können.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1 Experimentelle Arbeiten werden schwerpunktmäßig am Standort Ruprechtov (CZ) und in geringerem Umfang am Standort Heselbach (D) durchgeführt. Diese Arbeiten umfassen das Abteufen erforderlicher Bohrungen, die Ermittlung hydraulischer und geochemischer Parameter, eine detaillierte Sedimentanalytik, sowie Analytik von Grund- und Porenwässern. Darüber hinaus werden auch die Verteilungen wichtiger Isotope aus den natürlichen Zerfallsreihen untersucht.
- AP 2 Begleitend zu den experimentellen Arbeiten werden theoretische Arbeiten durchgeführt. Dazu gehört die Auswertung und Interpretation radio- und geochemischer Messungen, die Modellierung von geochemischen Effekten und von Transportprozessen mit geeigneten Codes. Letztendlich soll überprüft werden, ob die erzielten Ergebnisse auf deutsche Endlagerverhältnisse übertragbar sind.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Durchführung eines Workshops zur Diskussion aller bisherigen Ergebnisse und Festlegung der im Projekt noch durchzuführenden Arbeiten.
- Initiierung und Durchführung weiterer spezieller Untersuchungen an Bohrkern- und Wasserproben vom Standort Ruprechtov:

- Sorptions- und Desorptionsexperimente zur Ermittlung des Rückhaltemechanismus von Uran an kohlehaltigen und tonigen Sedimenten.
- Grundwasseranalysen unter verschiedenen Randbedingungen zur Ermittlung von Probennahme- und -behandlungseinflüssen.
- Anwendung der Thermionenmassenspektrometrie (TIMS) zur Ermittlung von Isotopenaktivitäten. Aufgrund einer sehr hohen Nachweisempfindlichkeit ist ein späterer Einsatz bei Proben mit geringeren Uran-Konzentrationen geplant.
- Altersbestimmung der Grundwässer anhand von C-14-Messungen.
- Messung der Kolloidkonzentration an ungestörten Grundwasserproben.
- Literaturoberwertung (hydro)geologischer, geochemischer und geophysikalischer Informationen zur Ermittlung der Ausdehnung lithologischer Einheiten und der Uran-Anreicherungs-horizonte.
- Durchführung einer zweiten Grundwasserbeprobung am Standort Heselbach.
- Radiometrische Analyse der Bohrkern- und neuer Grundwasserproben aus Heselbach.
- Koordination und Erstellung eines Proposals für den 3<sup>rd</sup> Call des 5. Rahmenprogramms bei der Europäischen Kommission.

#### 4. Ergebnisse

##### Ruprechtov:

- An 2 Grundwasserproben aus NA4 und NA5 wurden geringe Kolloidkonzentrationen im Bereich von 10-90 ppb gemessen.
- Fertigstellung des Proposals „Improvement in Performance Assessment Transport Modelling by Natural Analogue Study in Argillaceous Formation“ (PANAMA).

##### Heselbach:

- Identifikation von Ungleichgewichtszuständen in der Uranzerfallsreihe in Sedimentproben mit  $\alpha$ -höherer Urankonzentration.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Vorbereitung eines Beprobungsprogrammes im ausstreichenden Granit südlich des bisherigen Untersuchungsgebiets in Ruprechtov
- Weiterführung der Schwermetallanreicherungs-experimente an Proben der unterlagernden Schichten (Kaolinit) in Ruprechtov zur Charakterisierung der immobilen Uran-Phase.
- Durchführung von EXAFS-Messungen zur Charakterisierung der immobilen Form des Urans im Kaolinit.
- Auswertung und Interpretation aller Ergebnisse, abschließende Diskussion mit den beteiligten Institutionen und Dokumentation der Resultate in einem Abschlussbericht.
- Planung der nächsten Bohrkampagnen an den Standorten Ruprechtov und Heselbach.
- Bei positivem Bescheid der EU Vorbereitung der Arbeiten zum geplanten EU-Projekt.

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

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

[1] Noseck, U.; Brasser, T.; Woller, F.; Laciok, A.; Hercik, M.: Uranium migration in tertiary sediments - natural analogue study for repository systems at Ruprechtov Site, in "Proceedings of the International Conference on Radioactive Disposal, DISTEC 00", Berlin, 4.-6. September 2000.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 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> vom 01.10.1998 bis 30.09.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.748.697,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. Moog	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Durch Literaturrecherchen und eigene Laborexperimente sollen Pitzer-Ionenwechsellösungskoeffizienten 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

Vergleichsrechnungen mit CHEMAPP der Firma GTT wurden durchgeführt. Das Programmpaket und ein passender Fortran-Compiler wurden beschafft. Löslichkeitsversuche von Fe(II) in binären und ternären Lösungen der ozeanischen Salze wurden fortgeführt. Methodenentwicklung für Löslichkeitsversuche mit Fe(III) in Lösungen der ozeanischen Salze wurden begonnen. Es wurde begonnen, eine Methode für die Titration von Fe(III)-Hydroxospezies zu entwickeln. Eigene Versuche zur Erprobung der isopiesticen Apparatur wurden abgeschlossen. Es wurde begonnen, eine Methode für die direkte Bestimmung von  $H_2S$ -Aktivitäten in hochsalinaren Lösungen der ozeanischen Salze zu erproben.

### 4. Ergebnisse

Vergleichsrechnungen ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Rechenergebnissen von EQ3/6 und CHEMAPP/CHEMSAGE. Ermittelte Löslichkeiten von Fe(II) in gesättigten Lösungen der ozeanischen Salze zeigen gute Übereinstimmung mit Literaturdaten. Erstmals liegen nun auch Daten zu den Systemen Fe(II)-K-Cl-H<sub>2</sub>O, Fe(II)-Ca-Cl-H<sub>2</sub>O, Fe(II)-K-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O und Fe(II)-Ca-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O vor. Messungen an Standards belegen die Einsatzbereitschaft der eigenen isopiesticen Apparatur. Es liegen erste Löslichkeitsdaten für die Löslichkeit von Ferrihydrit in NaCl-Lösungen vor. Bei Titrationen konnte der Übergang vom Mono- auf den Dihydroxokomplex des dreiwertigen Eisens reproduzierbar dargestellt werden.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Entwicklung einer Methode zur Spurenanalytik von Fe(III) in hochsalinaren Lösungen der ozeanischen Salze. Erstellung von Algorithmen zur Berücksichtigung von Hydroxospezies des dreiwertigen Eisens bei der Berechnung von Wechselwirkungskoeffizienten. Durchführung von Titrationen des dreiwertigen Eisens in Lösungen der ozeanischen Salze. Löslichkeitsversuche mit PbS. Weiterführung der Versuche zur Messung der  $H_2S$ -Aktivität in Salzlösungen.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9148</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransportes		
<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> vom 01.10.1998 bis 31.03.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 4.724.211,00 DM	<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 Anwenderhandbuches 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

Es wurden die Auswirkungen nichtlinearer Adsorptionsreaktionen auf das Transportverhalten in heterogenen Medien untersucht. Unter Benutzung neuer Identifikationsmethoden für Transportparameter und durch geeignete Mittelung im Sinne der stochastischen Modellierung wurden Ausdrücke für gemittelte Transportparameter im homogenen Medium bestimmt. Hierdurch wird eine quantitative Überprüfung von numerischen Modellen ermöglicht.

Eine Adaptionstrategie zur Steuerung der Gitter- und der Zeitschrittweite wurde entwickelt. Die Effizienz des Fehlerschätzers und der Adaptionstrategie wurde in numerischen Experimenten getestet. Außerdem wurde die Vorgehensweise zur Implementation festgelegt.

Die Benutzerschnittstelle DAT (**D**aten**A**nalyse**T**ool) wurde erweitert. Sie steht jetzt auch für dreidimensionale Datensätze zur Verfügung. Die Arbeiten an MULTIDIM (**M**ULTIDIMensional Data) zur Visualisierung von Daten mit einer Vielzahl von Komponenten wurden fortgeführt. Jetzt steht auch ein HSI-Farbmodell zur Verfügung. Weiterhin wurden Verfahren zur Bilanzierung von Massenflüssen über Oberflächen und zur Leporello-Darstellung implementiert.

Die Arbeiten zur flexiblen Dateneingabe wurden abgeschlossen. Es ist jetzt möglich ohne, mit linearer oder nichtlinearer Gleichgewichts- oder kinetischer Sorption zu modellieren.

Die Erstellung des fachlichen Feinkonzeptes und die Realisierung der graphischen Bedienungs Oberfläche mit Java wurden weitergeführt. Weiterhin wurde begonnen, geeignete Testfälle zu definieren und die benötigten Daten bereitzustellen.

Am 8./9. November 2000 fand in Zürich das 4. Statusgespräch 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

Frolkovic, P.: Computational Simulations of Radionuclides Transport in Double Porosity Media with Adsorption. Computer Methods for Engineering in Porous Media Flow and Transport. Jul 10 -13, 2000, Besancon, France, CEMRACS 2000, Jul 31 - Aug 9, 2000, Marseille, France.

Geiser, J.: Numerical Simulation of Radionuclides Transport and Reaction in Multiple Dimensions and Multiple Species. Int. Conf. On Modelling and Computation in Environmental Sciences. Oct 30 - Nov 2, 2000, Bad Herrenalb, Germany.

<b>Auftragnehmer:</b> IfG, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9158</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN)			
<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> vom 01.09.1998 bis 31.12.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.576.387,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Kamlot	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In einem Gemeinschaftsvorhaben mit der GRS, Bereich Endlagersicherheitsforschung, werden an einem Hauptanhydritaufschluss, der in den nächsten Jahren infolge Abbaueinfluss erhöhten Gebirgsspannungen ausgesetzt wird, der Spannungszustand, die Hohlraumkonvergenz und die Klufftpermeabilität 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 Klufftströmung im Anhydrit untersucht, wobei die In-situ-Messwerte der Modellüberprüfung dienen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1 Ermittlung des Hauptspannungstensors am Anhydritaufschluss mit unterschiedlichen Verfahren und Nachweis der Spannungsänderungen unter Abbaueinwirkung.
- AP 2 Nachweis des Abbaueinflusses mit Konvergenzmessungen.
- AP 3 Bestimmung der Fluiddruckbelastbarkeit von Anhydritklüften und der Risspermeabilität in Abhängigkeit von der Abbaueinwirkung.
- AP 4 Berechnung der Klufftströmung in Abhängigkeit von den Gebirgsspannungen und Modellüberprüfung mittels In-situ-Messungen.
- AP 5 Ableitung standortunabhängiger und übertragbarer Abhängigkeiten und Berichterstattung.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Weiterführung und Zwischenauswertung der Konvergenzmessungen.
- Marktrecherche und Kauf von Bohrwerkzeugen für Kernbohrungen im Anhydrit ( $\varnothing$  101 mm).
- Unterstützung der Bohrarbeiten im Bergwerk Bernburg.
- Auftragserteilung für die Bohrlochschlitzmessungen an die Firma Q & S Consult.

### **4. Ergebnisse**

- Die im letzten Zwischenbericht vermutete Erhöhung der Konvergenzraten in einer Steinsalzstrecke bis zum Hauptanhydritaufschluss hat sich bestätigt. Inzwischen ist ein deutlicher Einfluss infolge der sich nähernden Abbaufont festzustellen.
- Die für die Spannungs- und Permeabilitätsmessungen im Anhydrit notwendigen Kernbohrungen bereiteten erhebliche Schwierigkeiten. Es wurden unterschiedliche Bohrkronen, Kernrohre und Bohrspülungsarten gekauft bzw. angewandt sowie Personal für die Bohrarbeiten zur Verfügung gestellt. Die Fertigstellung der Bohrungen erfolgte zum Ende des Berichtszeitraumes.

### **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, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9168</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Gebirgsspannungsumlagerungen (BARIAN)			
<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> vom 01.09.1998 bis 31.08.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.858.178,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Flach	

## 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 geplante Vorhaben soll als Gemeinschaftsprojekt mit dem Institut für Gebirgsmechanik, Leipzig, im Salzbergwerk Bernburg durchgeführt werden. 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 3 Eignungsuntersuchung einer alternativen Messmethode zur Bestimmung des räumlich/zeitlichen Spannungsfeldes der Maximalspannung
- AP 6 Labormessungen und Modellierung des quantitativen Zusammenhangs der spannungsabhängigen Mikrorissbildung mit der Gesteinspermeabilität
- AP 7 Permeabilitäts-Vergleichsmessungen mit Gas in unterschiedlich aufgelockerten Gebirgsbereichen
- AP 9 Auswertung und zusammenfassende Berichterstattung

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Das im NW des westlichen Abbaufeldes des Salzbergwerkes Bernburg geplante seismische Array, das der Überwachung von abbau- und tektonisch bedingten Spannungsumlagerungen dient, ist seit April in Betrieb. Es besteht aus 16 Dreikomponenten-Aufnehmer, die einen Gebirgsbereich von 100 x 100 x 70 m überdecken und Spannungsumlagerungen aufgrund der sich von S nähernden Abbaufont in der Übergangszone Steinsalz/Anhydrit überwachen. Das System ist mit einer Modem-Verbindung und einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) ausgerüstet. Dadurch ist eine laufende Überwachung des Status der Seismik-Anlage und der USV gewährleistet. Die Kalibrier-messungen wurden ausgewertet und die Orientierung der Aufnehmerkomponenten bestimmt (AP1).

### 4. Ergebnisse

Eine graphische Darstellung der Anzahl der georteten Ereignisse pro Zeiteinheit liegt vor und wird laufend ergänzt. Die bisherigen Auswertungen zeigen, dass der überwiegende Teil der seismischen Ereignisse im Nahbereich des Grubengebäudes stattfindet und durch bergmännische Tätigkeiten hervorgerufen wird. Ein weiterer aktiver Bereich ist der Übergang vom Steinsalz zum Anhydrit unterhalb des Grubengebäudes. Ereignisse, die von Spannungsumlagerungen verursacht werden, sind noch nicht abschließend zu beurteilen, da die Auswertung der Herdparameter und des Herdmechanismus noch nicht abgeschlossen sind. Der aus S sich nähernde Abbau ist noch zu weit entfernt, um eine signifikante Wirkung zu zeigen. Die Ergebnisse der Kalibrierung zeigen, dass für die Ortung der Ereignisse jeweils einheitliche Geschwindigkeiten für die P- und S-Wellen benutzt werden können. Aus der Regressionsanalyse hat sich  $V_P = 4781 \pm 145$  [m/s] und  $V_S = 2734 \pm 49$  [m/s] ergeben (AP1).

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Nächste Schritte:

- Registrierung, Auswertung und Interpretation der weiteren seismischen Signale
- Graphische Darstellung der seismisch "aktiven" Bereiche

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 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> vom 01.01.1999 bis 31.12.2002		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.703.026,00 DM		<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

- AS2: Aktualisierung des vorhandenen Fernbereichsmoduls CHETMAD
- AS6: Die Module LOPOS und CHETLIN wurden modifiziert, um die Daten zur Darstellung von Schadstoffverteilungen bereitzustellen. Änderungen am Postprozessor (resultierend aus Testergebnissen) wurden vorgenommen
- AS7: Das Werkzeug zur Visualisierung von netzwerkartigen Grubengebäudestrukturen wurde um die Möglichkeit erweitert, Ergebnisse von LOPOS-Rechenläufen auf die Grubengebäude-darstellung abzubilden.

### 4. Ergebnisse

- AS2: Eine Ausgangsversion von CHETMAD für die Arbeiten im Rahmen des Projekts wurde erstellt
- AS6: Der Postprozessor zur grafischen Darstellung von Schadstoffverteilungen ist für mehrere Module einsatzbereit. Die Programmentwicklung wurde beendet
- AS7: Der Prä- und Postprozessor wurde fertiggestellt und ist für die aktuelle Version des Moduls LOPOS verfügbar.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- AS1/AS2: Weiterführung vorbereitender Arbeiten; im Rahmen der Kofinanzierung werden die Arbeiten mit dem EU-Projekt BENIPA koordiniert
- AS4: Beginn der Übernahme von Referenz-Biosphären
- AS5: Anpassung der EMOS-Module an neues Statistik-Werkzeug, Test und Dokumentation der Statistik-Werkzeuge
- AS7: Dokumentation des Prä- und Postprozessors.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9188</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Gas- und Wasserfreisetzung und der Wasserverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels			
<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> vom 01.10.1998 bis 30.09.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.185.781,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Jockwer	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Von ENRESA (ES), ANDRA (F) und dem internationalen Konsortium SNHGS (CH) wird im Opalinus-Ton des Autobahntunnels durch den Mont Terri ein Erhitzerversuch durchgeführt, um das thermische, hydraulische und mechanische Verhalten des natürlichen Tons bei erhöhten Temperaturen zu untersuchen. Da Tone als technische Barrieren in deutschen Endlagern verwendet werden sollen, sind die Kenntnisse von Tonstein unter Gebirgstemperatur und die Auswirkung erhöhter Temperatur von Bedeutung. Daher beteiligt sich die GRS im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit zur Endlagerforschung am Erhitzerversuch im Opalinus-Ton mit den Arbeitspaketen „Ermittlung der Gasfreisetzung aus dem aufgeheizten und dem nicht aufgeheizten Tongestein“ und „Ermittlung des natürlichen Wassergehaltes und der Austrocknungseffekte bzw. der Wasserumverteilung mit geoelektrischen Messverfahren“. Im Nahbereich der Erhitzerbohrung werden hierfür spezielle Bohrlöcher erstellt, die für die Gasprobennahme bzw. die geoelektrische Erfassung der örtlichen und zeitlichen Veränderungen des Wassergehalts instrumentiert werden. Die Messungen der Gas- und Wasserfreisetzung sowie der Wasserumverteilung dienen der Bewertung der Langzeitwirksamkeit der in den deutschen Endlagern vorgesehenen technischen Barrieren aus Tonstein.

## 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**

Die von der spanischen Firma AITEMIN im Auftrag von ENRESA durchgeführten Installationsarbeiten sind abgeschlossen. Die technischen Schwierigkeiten mit den elektrischen Erhitzern sind nach Auskunft von AITEMIN behoben, jedoch zeigen die installierten Druckaufnehmer unerwartet niedrige Werte an. Da die Ursache nicht geklärt werden konnte, sollen in Februar 2001 in zwei weiteren neu anzulegenden Bohrlöchern sechs Gesamt- und Porendruckaufnehmer eines anderen Fabrikats installiert werden. Sobald diese Aufnehmer Drücke in dem zu erwartenden Bereich anzeigen, sollen die elektrischen Erhitzer eingeschaltet werden (voraussichtlich Juni 2001).

Im nicht aufgeheizten Zustand wurden aus den hierfür vorgesehenen Bohrungen Gasproben zur Analyse entnommen und die geoelektrischen Messungen zur Erfassung der Wasserverteilung sind im geplanten Umfang durchgeführt worden.

Der Versuch ist für den Zeitraum vom 01.01.2002 bis 31.12.2004 von den Projektbeteiligten im 5. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission zur Förderung mit einem Anteil von 50 % eingereicht worden. Zur Erarbeitung dieses Antrages fanden drei Projektbesprechungen bei AITEMIN in Toledo (Spanien), bei NAGRA in Wettingen (Schweiz) und bei BGR in Hannover statt. Der Antrag ist termingerecht eingereicht worden.

### **4. Ergebnisse**

Im nicht aufgeheiztem Zustand steigt die Konzentration der Gaskomponenten ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ) in den gasdicht verschlossenen Bohrlöchern weiterhin an. Die Gasentwicklung in diesen Bohrlöchern wird weiter erfasst.

Die geoelektrischen Messungen in nicht aufgeheiztem Gebirge zeigt im Sohlenbereich Widerstandserhöhung infolge Austrocknung, ansonsten ist die Widerstandsverteilung weitgehend homogen.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Bis zum Einschalten der Erhitzer sollen durch Gasprobenahme aus den Bohrlöchern sowie durch elektrische Leitfähigkeitsmessungen das Verhalten des nicht aufgeheizten Gebirges weiter erfasst werden.

Nach Einschalten der Erhitzer sollen durch Gasprobenahme aus den Bohrlöchern und durch Leitfähigkeitsverteilung im Gebirge die Auswirkung von erhöhter Temperatur auf das Tongestein ermittelt werden.

Von den geplanten Bohrungen für die neu zu installierenden Druckaufnehmern sollen Kerne gewonnen werden, an denen im Labor elektrische Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt werden sollen, um die Leitfähigkeitsmessungen im Gebirge zu kalibrieren.

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

keine

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9198</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabors 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> vom 01.10.1998 bis 30.09.2002		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 870.714,00 DM		<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 werden von GRS unter drei Versuchsbedingungen die Gasmigration in den technischen Komponenten (Beton, Bentonit) und im angrenzenden Gebirge untersucht. Unter realistischen Bedingungen soll das Zusammenwirken im Normalfall und des Versagens der verschiedenen technischen Barrieren bei hohem Druck ermittelt werden.

Das Vorhaben ist eingebunden in das im Felslabor Grimsel durchgeführte internationale Projekt "GMT".

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

- AP1** Ermittlung des Gasgehaltes sowie des Fluiddruckes im Porenraum des den Versuchsort umgebenden Granites (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**

Zur Charakterisierung der natürlichen Gasgehalte im Granit (AP1) wurden aus den Messbohrungen GMT 99001 bis GMT 99004 Gas- und Wasserproben für die Analysen entnommen. Die Druckkontrollmessungen in den gasgefüllten Packerintervallen im Nahbereich des Silos wurden mit Ende der Versuchsphase (Step 1) im September 2000 abgeschlossen.

Zur laufenden Versuchsphase (Step 2) ist neben RWMC, NAGRA und GRS noch ENRESA hinzugekommen. Dadurch hat sich das Versuchskonzept sowie die Zeitplanung geändert. Die Bauarbeiten am Silo sowie die Installation der Messgeräte und -komponenten werden hauptsächlich von den Ingenieurfirmen AITEMIN und Solexperts durchgeführt.

Von GRS wurden aufgrund der geänderten Randbedingungen neue Installationsvorschläge ausgearbeitet und Komponenten entwickelt, die mit den übrigen Projektbeteiligten in zwei Projektbesprechungen bei NAGRA in Wettingen (Schweiz) abgestimmt worden sind.

Bis Ende 2000 ist der untere Teil des Silobauwerkes fertiggestellt worden. Die Kapillarleitungen für die Gasprobenahme und die Gasinjektionstests sind von GRS installiert worden.

### **4. Ergebnisse**

Eine weitere Analyse der Formationswässer aus den vier Messbohrungen in Gebirge zeigte keine grundsätzlich anderen Gehalte an gelösten Gasen. Der Gehalt an CO<sub>2</sub> lag im Bereich zwischen 5 und 10 l pro 1 000 kg Wasser und der an höheren Kohlenwasserstoffen sowie Wasserstoff war kleiner als 0,1 l pro 1 000 kg Wasser. Die Druckentwicklung in den gasgesättigten Messbereichen spiegelt die quasi-stationären Druckbedingungen in den Scherzonen S1 und S2 oberhalb des Silos und in der Matrix wider. Sprunghafte Druckänderungen in der Scherzone S1 neben dem Silo konnten mit Ereignissen von Injektionsversuchen in nebenliegenden Testbohrungen korreliert werden. Für die In-situ-Messungen von Step 2 ist ein Testplan erstellt und mit den übrigen Versuchspartnern abgestimmt worden.

Die zu installierenden Komponenten sind konstruiert und zur Fertigung in Auftrag gegeben worden.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Fortführung der Druckmessungen unter Teilsättigung der Messintervalle mit Argon als Trägergas.

Bestimmung der Gleichgewichtspartialdrücke der verschiedenen aus dem Gebirge freigesetzten Gas-komponenten.

Installation der Komponenten für die Gasprobenahmen und Gasinjektion in den verschiedenen Bauwerkskomponenten sowie Test der installierenden Komponenten.

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

keine

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

GMT – Step B Instrumentation System, Design and Specification. AITEMIN, Oktober 2000

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9208</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Felslabor Grimsel (Phase V): Effektive Parameter (EFP) -Begleitende geoelektrische Untersuchungen-			
<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> vom 01.10.1998 bis 30.09.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 378.721,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Flach	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für die Abschätzung der großräumigen Transportmechanismen wird von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), mit der das Vorhaben als Gemeinschaftsvorhaben durchgeführt wird, die Aufstellung eines numerischen Modells geplant, das basierend auf den bisherigen Erkenntnissen entwickelt und in einem Feldversuch im Felslabor Grimsel, Schweiz, validiert werden soll.

Der GRS-Beitrag zu diesem Feldversuch besteht darin, mit geoelektrischen Messungen die Ausbreitung von Tracern unterschiedlicher Leitfähigkeiten in einem ausgewählten Kluftsystem zu erforschen und Eingangsparameter für das numerische Modell des Transportmechanismus zu liefern. Da das Tracerexperiment zunächst in einem Gebirgsbereich mit bekannten geologischen und geometrischen Verhältnissen stattfindet, soll die Leistungsfähigkeit der angewandten geoelektrischen Methode überprüft werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Durchführung geoelektrischer Messungen in einem Feldversuch zur Überprüfung eines numerischen Modellansatzes für den Transportmechanismus in einem Kluftsystem
- Visualisierung der Tracer-Ausbreitung in einem Kluftsystem mittels geoelektrischer Messungen.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Für die Durchführung des kleinräumigen Salztracertests, der von den Projektpartnern BGR und GRS gemeinsam durchgeführt wird, wurden zusätzlich zu den 4 Messbohrungen, die bereits vorher mit Elektrodenketten bestückt worden waren, weitere 3 Bohrungen verschlossen, um unerwünschte Wegsamkeiten des Tracers im Versuchsfeld zu verhindern.

Nachdem alle 93 Elektroden der Elektrodenketten an die automatische, fernsteuerbare Datenerfassungsanlage angeschlossen worden waren, wurden Langzeitmessungen zur Überprüfung der Elektrodenanschlüsse und der Ankopplung der Elektroden an das Gebirge begonnen.

### **4. Ergebnisse**

Das Verschließen der zusätzlichen Bohrungen war erfolgreich. Nach kurzer Zeit stellte sich der ursprüngliche hydraulische Gebirgsdruck, der vor Auffahren des Versuchsfeldes geherrscht hat, ein. Die geoelektrischen Testmessungen konnten wegen eines Defektes im Übertragungsteil der Datenerfassungsanlage nicht abgeschlossen werden. Dadurch hat sich die Durchführung des Tracerexperimentes geringfügig verzögert.

Es wurden weitere Modellrechnungen durchgeführt, die Aufschluss über die Sensitivität des Verfahrens geben, wenn die Leitfähigkeitsunterschiede zwischen Tracer und Gebirge verändert werden.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Weitere Schritte:

- Durchführung weiterer Modellrechnungen zur Untersuchung der Tracer-Ausbreitung
- Fortführung der Vorversuche zur Überprüfung geeigneter Elektrodenkonfigurationen
- Durchführung des ersten Tracerexperimentes

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> BGR, Stilleweg 2, 30655 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9218</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Deutsch-Schweizerische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung (Felslabor Grimsel Phase V). Teilprojekt I: Effektive Parameters (EFP); Teilprojekt II: Numerical Calculation of Two-Phase Flow.		
<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> vom 01.10.1998 bis 31.12.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 961.920,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Shao

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

### EFP

In dem Vorhaben sollen die konzeptionellen Modelle und numerischen Programme für die Modellierung der großräumigen Schadstofftransportprozesse in geklüfteten Formationen überprüft bzw. mit den Versuchsdaten validiert werden. Es sind die effektiven Parameter zur Beschreibung repräsentativer Volumina des Wirtsgesteins um ein Endlager zu ermitteln.

Die folgenden Teilziele sollen erreicht werden:

- Überprüfung des Verfahrens zur Charakterisierung des Wirtsgesteins,
- Überprüfung der Modellbildung zur Berechnung der zeitlich/räumlichen Verteilung der Tracerkonzentrationen in großen Gebirgsvolumina,
- Konzipierung und Durchführung großräumiger In-situ-Tracerversuche zur Modell-Validierung
- Nachweis der Übertragbarkeit des Verfahrens auf andere geologische Formationen.

### GMT

Die Ziele bei der Beteiligung am japanischen Projekt "Gas Migration Test in the EBS" sind:

- Überprüfung von numerischen Methoden und Modellen zur Beurteilung des Schadstofftransports in einer Gas-Wasserströmung im geklüfteten Granit,
- Erstellung einer Datenbasis für die Ermittlung von physikalischen Parametern zur Zweiphasenströmung in porösen und geklüfteten Medien und Kalibrierung der numerischen Modelle, sowie
- Weiterentwicklung des numerischen Modells zur Modellierung des Gastransportprozesses im Engineered Barrier System und angrenzenden Felsgestein.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### EFP

- Geologisches Bohrprogramm
- Neubewertung des Trennflächengefüges
- High-Resolution Seismic Tomography
- Tomographische Messung der elektrischen Leitfähigkeit
- Erstellung geohydraulischer Modelle
- Planung, Vorausberechnung und Durchführung großräumiger Tracerversuche

GMT

- Geologische und hydraulische In-situ-Untersuchungen der EDZ im Silo-Bereich
- Numerische Zweiphasenfluss-Modellierung

**3. Durchgeführte Arbeiten**EFP

- Einbau von geoelektrischen Leitermessketten in die Geoelektrikbohrungen des zentralen BK Bereiches
- Durchführung eines Vorversuches mit NaCl-Tracer im Bereich des Geoelektrikversuchsfeldes
- Veranstaltung eine Meetings verschiedener, internationaler Projektteams (Teilnahme: NAGRA, FZK, BGR, GRS und ERL/ITRI).

GMT

- Zweiphasen-Modellierung VEGAS-Versuch
- Programmentwicklung zu quelldruckabhängiger Permeabilität (in Arbeit)

**4. Ergebnisse**EFP

- Die stochastische Generierung von Kluftnetzwerken ergab ab einer gewissen Anzahl von Klüften eine fast durchgängige Perkolation über den gesamten Versuchsbereich. Anhand dieser theoretischen Überlegungen ist somit zu erwarten, dass es bei Tracerversuchen eher zu einem räumlichen, denn zu einem nur auf wenige Klüfte beschränkten Stofftransport kommen wird.
- Mit Hilfe von hydraulischen Laufversuchen bei gleichzeitiger Überwachung des Druckes in allen BK-Bohrungen konnte die verbesserte hydraulische Trennung der unterschiedlichen Gebirgsbereiche bestätigt werden. Ein weiterer Hinweis auf die erfolgreiche Trennung der unterschiedlichen Gebirgsbereiche ergibt sich aus dem Druckanstieg nach Abschluss der Laufversuche. Durch die Vermeidung hydraulischer Kurzschlüsse steigt der Druck im BK-Bereich an, was zu einer generellen Verflachung des hydraulischen Gradienten bei geschlossenen Bohrungen führt.
- Der Vorversuch mit Salzeinspeisung im Geoelektrik-Versuchsfeld ergab, selbst unter Ansatz sehr moderater Pumpraten, Durchbruchzeiten des Salztracers von nur wenigen Stunden. Positiv ist hierbei, dass im Geoelektrik-Versuchsfeld im Bereich der Leitermessketten konstante Salzkonzentrationen erzeugt und aufrechterhalten werden können. Die gemessenen Salzkonzentrationen an den Tropfwasserstellen im Stollenbereich sind hierbei ein Beleg für die Annahme eines Kluftnetzwerkes. Der Vorversuch belegt, dass stationäre und instationäre Salzungsversuche durchgeführt werden können.

GMT

- Die Modellrechnung des VEGAS-Versuches zeigt, dass die Permeabilität des Bentonit/Sand-Gemisches (20:80) durch Aufsättigung halbiert werden kann.

**5. Geplante Weiterarbeiten**EFP

- Durchführung von Salztracerversuchen in dem niedrigen Druckbereich mit den Begleitung von geoelektrischen Messungen
- Vorausberechnung und Planung von Tracerversuchen in niedrigen und hohen Druckbereichen

GMT

- Zweiphasen Modellierung der In-situ-Versuche

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

keine

**7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9239</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.02.2000 bis 31.01.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 3.037.133,00 DM	<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.
- Aktualisierung des Kenntnisstands über Human-Intrusion-Szenarien, Erweiterung der bisherigen Modelle und Durchführung von Konsequenzanalysen.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- TA 1: - Teilnahme an der Konferenz Spektrum 2000. In einem Übersichtsbeitrag wurden die deutschen Arbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salzgestein dargestellt. Insbesondere vor den laufenden FuE-Arbeiten in der WIPP interessierten die Erfahrungen und die Schwerpunkte zukünftiger Arbeiten.
- Teilnahme an der 2. Sitzung der NEA-Arbeitsgruppe IGSC.

- Arbeitsgespräch mit FZR und FZK-INE über den Stand der Oberflächenkomplexmodellierung und die weitere Vorgehensweise zu diesem Thema in Deutschland. Planung einer deutschen Teilnahme am NEA-Sorptionsforum, Phase II.
- Teilnahme am „1st Workshop on Geochemistry“ im Rahmen der deutsch-französischen Zusammenarbeit. Abstimmung von Themen für eine zukünftige Zusammenarbeit.
- Teilnahme am Workshop zum Abschluss des Projekts „Tracer Retention Understanding Experiments“ (TRUE), Phase I.
- Ausrichtung des ersten Arbeitstreffens zum EU-Projekt SPIN. Erarbeitung von Vorschlägen für Definitionen von Sicherheits- und Performance-Indikatoren. Festlegung eines ersten Satzes zu verwendender Indikatoren.
- Durchführung von Rechnungen zu erwartender Gasmengen und -drucke in Endlagern im Salinar anhand vereinfachter Prinzipmodelle. Vergleich der deutschen Vorgehensweise zur Berücksichtigung von Gasen in Langzeitsicherheitsanalysen mit der von WIPP.
- Durchführung von Abbrand- und Aktivierungsrechnungen auf Basis aktualisierter Daten zu Verunreinigungen in Brennstoff und Metallteilen. Ermittlung neuer Inventar-Datensätze für abgebrannten Brennstoff und MOX.
- Durchführung erster Vergleichsrechnungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern für abgebrannte Brennelemente in Salz und Granit.

#### **4. Ergebnisse**

TA 1: - Ergebnisbericht: „Abbrand- und Aktivierungsrechnungen für DWR, UO<sub>2</sub>- und MOX-Brennelemente unter Berücksichtigung von Verunreinigungen im Brennstoff und Strukturmaterial“ liegt vor.

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

TA 1: - Teilnahme an den Sitzungen des RWMC und der NEA Arbeitsgruppe IGSC.  
 - Teilnahme mit eigenen Beiträgen am nächsten GEOTRAP-Workshop in Äspö.  
 - Beginn der Zusammenarbeit mit US-DOE. Teilnahme an einem Workshop zur Festlegung von Themen und der zu beteiligenden Institutionen in Carlsbad, USA.  
 - Informationsaustausch mit FZK-INE zur Übernahme von Modellansätzen zum kolloidgetragenen Schadstofftransport in Langzeitsicherheitsanalysen.  
 - Erarbeitung einer Stellungnahme zum Thema „Einschätzung der Gasentwicklung und deren Auswirkung auf die Endlagerung mittel- und hochaktiver Abfälle in Salzformationen“ auf Basis des Berichtes der Fa. Stoller.  
 - EU-Projekt SPIN: Durchführung einer Literaturrecherche zu bisherigen internationalen Arbeiten über Sicherheits- und Performance-Indikatoren. Nachrechnung ausgewählter Langzeitsicherheitsanalysen unter Berücksichtigung eines ersten Satzes von Indikatoren.

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

keine

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE, Eschenstraße 55, 31224 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> vom 01.02.2000 bis 31.07.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 3.705.000,00 DM	<b>Projektleiter:</b> M. 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

- Zu 1: - Vorbereitet wurde ein Vertragswerk zwischen DBE und NAGRA (Schweiz) zur Installation eines faseroptischen Messsystems im Felslabor Grimsel in der Schweiz. In diesem Zusammenhang wurde eine Vereinbarung vorbereitet zwischen DBE und RWMC (Radioactive Waste Management Center, Japan) zur Teilnahme am GMT-Barriere-Test (Gas Migration Test), den RWMC im Felslabor der NAGRA durchführt.
- Zu 4: - Die im vorangegangenen Projekt (02 E 8946 2) begonnenen Messungen der im Schacht Konrad installierten faseroptischen Demonstrationsanlage wurden ebenso wie die manuellen Vergleichsmessungen fortgeführt. Die untertägige Datenerfassungsanlage wurde durch ein Kühlgerät ergänzt, um den Temperatureinfluss auf das Messsystem zu reduzieren. Einige Komponenten des Erfassungssystems wurden ausgetauscht, da deren Funktion sich auf Grund der Temperatur verschlechtert hatte.
- Die Installation eines optischen Sensor- und Erfassungssystems im Felslabor Grimsel im Rahmen des GMT-Barriere-Tests wurde geplant.
- Die bisherige stand-alone pH-Sonde wurde zu einem multi-pH-Sonden System weiterentwickelt. Die dazu notwendige Erfassungssoftware wurde entwickelt und erfolgreich getestet. Die veränderten Elektronik-Einheiten befinden sich im Test.

### 4. Ergebnisse

Entwickelt werden konnte ein multi-pH-Sonden Messsystem inklusive der zugehörigen Datenerfassungssoftware.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Im Labor: Abschluss der Labortests zum pH-Messsystem.  
 Test eines neuartiger Fiber Fabry Pérot (FFP) Filters mit diversen Vorteilen.  
 Software-Entwicklung zur Steuerung optischer Schalter.
- In situ: Installation des weiterentwickelten pH-Messsystems zu Testzwecken in der Schachtanlage Konrad.  
 Installation eines faseroptischen Messsystems unter Einsatz verschiedener Sensoren im Rahmen des GMT-Barriere-Tests im Felslabor Grimsel der NAGRA.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Jobmann, M., Fischer, S., Veot, M. 2000: New Monitoring Methods for Operational Safety Requirements based on Fiber Optic Technology, Proceedings of the International Conference on Radioactive Waste Disposal - DisTec2000 -, Berlin.

<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> vom 01.04.2000 bis 31.12.2002		<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 397.247,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Kamlot	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit dem in Zusammenarbeit mit FZK, BGR und GRS durchgeführten 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 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.

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Untersuchung der Porosität, Permeabilität und Tragfähigkeit von verdichteten Versatzproben aus der Versuchsstrecke.
- 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**

- Vertragsvorbereitung mit dem Unterauftragnehmer GMuG Ober-Mörlen für die SE-Rissortung der Hydrofrac – Spannungssondierung.
- Auswahl und Transport der Versatzkerne aus der Erhitzerstrecke bzw. des Steinsalz-Bohrkernes K1 an das IfG.
- Prüfkörperherstellung und Präparation sowie Durchführung der ersten Laborversuche.
- Test des Stoffgesetzes „crushed salt“ im Programmsystem FLAC.

### **4. Ergebnisse**

- Es gelang, wie geplant, aus den 3 Kernbohrungen im Versatz K7, K8 und K9 ausreichendes Kernmaterial für die Laborversuche zu gewinnen.
- Die Prüfkörperherstellung war problematisch. Es musste nach einer speziellen Präparationsmethode gesucht werden.
- Die ersten Arbeitskurven des Steinsalzes (Spannungs-Deformations-Zusammenhang) sind zu den bisherigen Resultaten vergleichbar.

### **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, 50667 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> vom 01.04.2000 bis 30.04.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 426.732,00 DM	<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 thermomechanischen 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
- Erstellung von Projektberichten

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Nach Beginn der Streckenaufwältigung im August 2000 wurde das Beprobungsprogramm zur Gewinnung von Versatzproben und Rückgewinnung von Messinstrumenten gemäß GRS-Probenahmeplan durchgeführt. Der Zustand des Versatzmaterials und der Messgeräte wurde phototechnisch dokumentiert.

Die Analysen der Umgebungsluft zur Untersuchung der Einhaltung der MAK-Grenzwerte schädlicher Gase wurden planmäßig durchgeführt.

Die Laboruntersuchungen an Versatzproben aus dem Messquerschnitt E1 wurden durchgeführt.

### 4. Ergebnisse

Die zur Gewinnung von Versatzproben an der Vorderseite des 1. Erhitzers vom Messquerschnitt I1 aus erbohrten großkalibrigen Versatzkernen wurden für die späteren Laboruntersuchungen übernommen und fachgerecht in Kernkisten verpackt.

Im Zuge der Streckenaufwältigung wurden in den Messquerschnitten L1 (Strecke A), E1, E1<sup>+1</sup>, I1, D1<sup>2</sup>, D1<sup>-1</sup> und D1 (alle Strecke B) Temperaturgeber, Versatzdruckgeber und Wegaufnehmer für die geplanten Rekalibrierungen geborgen und verpackt.

Im Labor wurde die Restporosität und Permeabilität von 7 Versatzproben eines Vertikalprofils vom Messquerschnitt E1 untersucht. Die Dichte der Proben nahm von unten nach oben zu, d.h. die Porosität wurde nach oben zu geringer. Im unmittelbaren Firstbereich lag die Porosität bei 27,7 % (Dichte 1,58 g/cm<sup>3</sup>), im unmittelbaren Sohlenbereich bei 37 % (Dichte 1,38 g/cm<sup>3</sup>). Die hohe Porosität im Sohlenbereich ist auf eine sehr grobkörnige Versatzmateriallage zurückzuführen und für den Gesamtquerschnitt nicht repräsentativ. Als Durchschnittswert ergab sich eine Porosität von 30 – 31 %, was mit den Porositätswerten, die aus den In-situ-Messungen im kalten Bereich ermittelt wurden, gut übereinstimmt. Die Permeabilitäten lagen zwischen  $8,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$  im Firstbereich und  $1,9 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$  im Sohlenbereich und wiesen keine signifikante Abhängigkeit von der Probenahmeposition auf.

Gemäß den durchgeführten Gasanalysen wurden die MAK-Grenzwerte schädlicher Gase in den Wettern der aufgewältigten Strecke stets eingehalten.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Die weitere Gewinnung von Versatzproben und Bergung von Messinstrumenten wird gemäß GRS-Probenahmeplan erfolgen. Im Labor werden die geplanten Untersuchungen zur Bestimmung der Porositäten, Permeabilitäten und Festigkeiten an Versatzproben aus den Kernbohrungen K4, K5 und K6 sowie an Proben aus den Messquerschnitten D1 und G1 durchgeführt werden.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9279</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geelektrische 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> vom 01.01.2000 bis 29.02.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 811.636,00 DM	<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 Einlagerungsbohrlöchern 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

**AP1:** In-situ-Ermittlung der räumlichen und zeitlichen Wasserverteilung in Gebirge, Bohrloch-Buffer und Streckenversatz

**AP2:** Laborversuche zur Ermittlung der Resistivität (bzw. Leitfähigkeit) von Bentonitproben in Abhängigkeit vom Wassergehalt bzw. der Salinität des Porenfluids

### 3. Durchgeführte Arbeiten

**AP 1:-** Herstellung von 6 Bohrlöchern für die Installation der Elektrodenketten sowie eines Bohrloches zur Verbindung der Elektroden mit der Messanlage.

- Vergabe der Aufträge zur Herstellung der druckwasserdichten Messkabel.
- Erstellung eines "Activity Plan" sowie einer "Testing Instruction" für die Installationen und die Durchführung der Messungen.

- AP 2:-** Resistivitätsuntersuchungen an MX-80-Bentonit und an 2 Original-ÄSPÖ-Proben
- Perkolationsversuch an kompaktiertem MX-80 mit einer Trockendichte von  $1,66 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ . Die erforderlichen technischen Spezifikationen wurden mit Fachfirmen abgestimmt und die zugehörigen Angebotsanfragen wurden versandt.

#### **4. Ergebnisse**

- AP 1:-** Die Bohrlöcher stehen für die Installation der Elektrodenketten zur Verfügung.
- Die Lieferung der druckwasserdichten Messkabel ist für Januar 2001 zugesagt.
  - Die Prüfung der vorgelegten Unterlagen durch SKB dauert noch an.
- AP 2:-** Die Resistivitäten der MX-80-Proben nahmen erwartungsgemäß mit zunehmenden Wassergehalt ab, wobei die größten Resistivitätsänderungen zwischen 11 und 16 Gew. % auftraten. Zu höheren Wassergehalten von 22 bis zu 33 Gew. % hin war die Resistivitätsänderungen nur noch gering. Die Messungen an den Original-ÄSPÖ-Proben ergaben eine gute Vergleichbarkeit der Messergebnisse.
- Unter den gewählten realitätsnahen Versuchsbedingungen findet sich kein Anhaltspunkt dafür, dass sich die durchströmte Tonmembran wie ein semipermeabler Filter verhält. Na und K werden in die Lösung abgegeben und gegen Mg und Ca ausgetauscht. Dies und ein Vergleich der Ionenbeweglichkeiten im Wasser lassen vermuten, dass die beobachteten Lösungsänderungen nicht, wie zunächst angenommen, zu signifikanten Leitfähigkeitsunterschieden führen werden.

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

- AP 1:-** Konfektionierung der Messkabel in der GRS-Werkstatt in Braunschweig (2001)
- Aufbau und Test der geoelektrischen Messanlage (2001)
  - Installation der Messketten und der Messanlage im HRL Äspö (2001/2002)
  - Beginn der In-situ-Messungen (2001)
- AP 2:-** Wegen der am MX-80-Bentonit ermittelten geringen Leitfähigkeitsänderungen oberhalb eines Wassergehaltes von 16 % sollen vergleichbare Untersuchungen am Bentonit-Versatz durchgeführt werden. Da bei den Perkolationsversuchen trotz 80 g kumulierter Masse Perkolat pro 16,1 g MX-80, was etwa 30 Porenvolumina im durchströmten Körper entspricht, noch kein chemisches Gleichgewicht erreicht worden ist, sollen die Messungen bis zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes fortgesetzt werden. Darüber hinaus ist vorgesehen, an zwei intermediär ausgetretenen Lösungen die Leitfähigkeit zur Absicherung der o.g. Vermutung zu messen.

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

keine

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE, Eschenstraße 55, 31224 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> vom 01.04.2000 bis 30.04.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.506.230,00 DM	<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.

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

## 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: Das Konvergenzmesssystem im Messquerschnitt E1<sup>-1</sup> (kalter Bereich) wurde vollständig und unbeschädigt geborgen im Zuge der Streckenaufwältigung.

AP 6: Grundzüge der Modellbeschreibung für Benchmarkberechnungen wurden zusammengestellt.

AP 7: Für den Begriff „Rückholbarkeit“ wurde eine Arbeitsdefinition entwickelt. Mit dem Partner NRG wurde das gemeinsame Arbeitsprogramm abgestimmt.

AP 9: Die nördliche Versuchsstrecke wurde bergmännisch über eine Länge von ca. 30 m aufgewältigt. Dabei wurde der über ca. 10 Jahre verfestigte Versatz abschnittsweise maschinell und in der unmittelbaren Nähe von Instrumentierungen manuell gelöst und abtransportiert. Zuvor wurden Bohrkerne (100 und 280 mm) aus dem Versatzkörper erbohrt und für gesteinsmechanische Untersuchungen bereitgestellt. Die während der Streckenaufwältigung freigelegten Messsensoren und Korrosionsproben wurden den zuständigen Projektpartnern für Nachuntersuchungen zur Verfügung gestellt.

**4. Ergebnisse**

keine

**5. Geplante Weiterarbeiten**

AP 5: Vorbereiten der Nachuntersuchungen und Rückgewinnung des Messquerschnittes G2.

AP 6: Aufnahme der Arbeiten zur Implementierung eines Stoffgesetzes für Salzgrus in das Rechenprogramm FLAC.

AP 7: Weitere Planungen zur Rückholung von POLLUX-Behältern.

AP 9: Abschluss der Aufwältigungsarbeiten in der nördlichen Strecke im Asse-Versuchsfeld.

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

keine

**7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZR, Bautzner Landstraße 128, 01474 Schönfeld-Weißig	<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9299</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen über die Komplexierung und die Migration von Actiniden und nichtradioaktiven Stoffen mit Huminsäuren unter geogenen Bedingungen – Komplexierung von Huminsäuren mit Actiniden 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> vom 01.01.2000 bis 30.11.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 692.000,00 DM	<b>Projektleiter:</b> 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

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Installation und Testung des neuen Lasersystems (Fa. Polytec)
- Fortsetzung der röntgenabsorptionsspektroskopischen Untersuchungen an Np(IV)-, Np(V)-, Th(IV)- und U(IV)-Huminsäure (HS) und Fulvinsäure (FS)-Komplexen, Untersuchung des Einflusses phenolischer OH-Gruppen auf die Np(V)-Komplexierung durch HS bei pH 7
- Röntgenabsorptionsspektroskopische Untersuchungen an Pu(III)-HS und FS-Komplexen
- EXAFS Untersuchungen an Np(IV)-, Np(V)-, Th(IV)- und Pu(III)-Bio-Rex70-Sorbaten (Kationenaustauscher mit ausschließlich COOH-Gruppen) als Vergleichsproben
- Charakterisierung der Modellhuminsäure Typ M42, Verteilung der HS an Projektpartner
- Synthese <sup>14</sup>C-markierter HS Typ M42 ausgehend von [u-<sup>14</sup>C]Glutaminsäure
- Optimierung des Syntheseverfahrens zur Herstellung von modifizierten HS mit blockierten phenolischen OH-Gruppen mit dem Ziel der vollständigen Phenolgruppenblockierung

### 4. Ergebnisse

Strukturparameter (Bindungsabstände und Koordinationszahlen) von Np(IV)-, Np(V)- und Th(IV)-Humaten/Fulvaten wurden mittels EXAFS bestimmt. Diese wurden mit in der Literatur angegebenen Strukturdaten hydratisierter Actinidionen und deren Carboxylatkomplexe verglichen. Bei der Untersuchung der U(IV)- und Pu(III)-Humate/Fulvate zeigte sich, dass U(IV) und Pu(III) in den Komplexen Redoxinstabilitäten aufweisen.

Die Präparation der <sup>14</sup>C-markierten synthetischen HS Typ M42 wurde mit einer HS Ausbeute von 0.9 g abgeschlossen (2.38 MBq/g). IR-Spektrum, Protonenaustauschkapazität und COOH-Gehalt der HS stimmen mit den Daten der nicht markierten HS sehr gut überein.

Nach dreimaliger Derivatisierung der HS Typ M42 und Aldrich konnte deren Gehalt an sauren/phenolischen OH-Gruppen auf 21 bzw. 14 % des Ausgangsgehalts gesenkt werden.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Spektroskopische Untersuchungen zur Komplexierung von Np mit modifizierten und nicht modifizierten HS Typ M42 und Aldrich sowie mit hochreiner HS Typ M1
- Bestimmung der Sorption von Np an Granit und dessen Mineralbestandteilen in Abwesenheit und in Gegenwart von HS, Einsatz <sup>14</sup>C-markierter synthetischer HS Typ M42
- Röntgenabsorptionsspektroskopische Untersuchung von Np-Komplexen organischer, niedermolekularer Modellverbindungen und Bestimmung von Np-Sorptionsspezies
- Voruntersuchungen zur Synthese von HS mit ausgeprägter Redoxfunktionalität
- Analyse des Programms EQ3/6 im Hinblick auf die Integration von Huminsäuremodellen

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Posterbeiträge: Symposium on Refractory Organic Substances in the Environment, 01.-03.08.2000, Karlsruhe; Actinide-XAS-2000, 10.-12.09.2000, Grenoble, Frankreich

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Johannes Gutenberg-Universität, Fritz-Strassmann-Weg 2, 55128 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> vom 01.01.2000 bis 31.12.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 822.000,00 DM	<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 (Fachrichtung 8.14 der Universität des Saarlandes).

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Mit der vom Forschungszentrum Rossendorf zur Verfügung gestellten synthetischen Huminsäure M42 wurden verschiedene Versuchsreihen mit Np(V) bei pH 8 durchgeführt. Außerdem wurde versucht, mittels Ultrafiltration die Loading Capacity für diese Bedingungen zu bestimmen. Die erhaltenen Werte wurden mit älteren Daten (UF/EIF) für die synthetische Huminsäure M1 und die natürliche Aldrich-Huminsäure verglichen. Die Kinetikversuche wurden weitergeführt. Für die Speziation des Pu wurde ein CE-System aufgebaut. Darüber hinaus wurden erste Redoxexperimente mit Pu(VI) und Aldrich-Huminsäure durchgeführt, und die Arbeit zur Herstellung und Stabilisierung von Pu(IV) wurde fortgesetzt. Für diese Experimente wurde eine Inertgasbox installiert (Uni Mainz).

Aldrich-Huminsäure wurde aufgereinigt und charakterisiert, und die Studien zur Bestimmung der Protonenaustauschkapazität wurden abgeschlossen. Die Komplexierungskonstanten von Aldrich-Huminsäure und M42 mit Pb, Cd und Zn wurden mittels elektrochemischer Methoden bestimmt. Untersuchungen zur Konkurrenzkomplexierung zwischen Pb bzw. Al und Ca wurden begonnen. Die Trennzelle nach dem Wageningen Donnan Membran-Prinzip, die für Studien von Anioneneffekten benötigt wird, befindet sich im Bau (Uni Saarbrücken).

#### 4. Ergebnisse

Für M42 ergab sich bei sehr geringen Np-Konzentrationen ( $10^{-13}$  M) analog zu den Versuchen mit Aldrich-Huminsäure eine 1:1-Komplexierung und eine ähnliche Komplexierungskonstante von  $\log \beta_{\alpha, \text{pH } 8} = 4.1$ . Die Loading Capacity für M42 mit Np(V) bei pH 8 betrug 10 %; dieser Wert ist etwas niedriger als die unter gleichen Bedingungen ermittelten LC-Werte für Aldrich-Huminsäure (32,7 %) und M1 (24,7 %). Die in früheren Versuchen festgestellte Abhängigkeit der Komplexierungskonstante  $\log \beta_{\text{LC}}$  von der Np-Metallionenkonzentration wurde auch mit den reineren synthetischen Huminsäuren erhalten. Bei pH 8 ergaben sich folgende  $\log \beta_{\alpha}$ -Werte für die Huminsäuren M42, M1 und M1b: 3,0 – 3,2 ( $10^{-5}$  mol/l  $\text{NpO}_2^{+\text{tot}}$ ) und 4,1 – 4,6 ( $10^{-13}$  mol/l  $\text{NpO}_2^{+\text{tot}}$ ). In Kinetikversuchen mit geringen Np(V)-Konzentrationen zeigte sich, dass mittels Ultrafiltration keine signifikante Veränderung der Speziesverteilung zwischen 20 Minuten und mehreren Stunden bis Tagen auftritt. Dabei wurde zum Einen direkt die Bildung des Komplexes nach Zugabe des Radionuklids zur Huminstofflösung beobachtet und zum Anderen die Freisetzung von  $\text{NpO}_2^{+}$  aus dem Komplex studiert. Mit UV/VIS Spektroskopie wurde die Geschwindigkeit der Reduktion von Pu(VI) durch Huminsäure ermittelt. Diese nimmt mit steigendem pH-Wert zu. Bei pH 0,4 liegen nach 11 d noch 61 %, bei pH 2,8 nach 7,5 h noch ~ 30 % Pu(VI) vor. Diese Experimente werden nach dem Aufbau des CE Trennsystem zur Pu-Speziation fortgeführt. Pu(IV) kann durch Abrauchen mit  $\text{HNO}_3$  konz., 5M  $\text{HNO}_3$  / 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$  (25:1) und anschließender Reduktion mit  $\text{NaNO}_2$  in  $\text{HNO}_3$  hergestellt werden (Uni Mainz).

Mit Hilfe verschiedener elektrochemischer Verfahren wurden die Komplexbildungskonstanten von Pb mit der synthetischen Huminsäure M42 ermittelt. Die Daten zur Konkurrenzkomplexierung für das System Pb-Aldrich-Huminsäure mit Al und Ca und deren Kinetik sind vorläufig ausgewertet. Die Protonenaustauschkapazität der neu aufgearbeiteten Aldrich-Huminsäure beträgt  $5,1 \pm 0,1$  meq/g HS (Uni Saarbrücken).

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

Zur Pu-Speziation mit dem Kapillarelektrophoresesystem muss nach dessen vollständigem Aufbau noch das Kopplungsstück zur ICP-MS hergestellt werden. Danach wird zusammen mit dem INE ein Elektrolytsystem zur Trennung der verschiedenen Pu-Spezies entwickelt. Anschließend sollen dann die Reduktionsexperimente mit Pu weitergeführt und die Komplexbildungskonstanten der verschiedenen Pu-Oxidationszustände mit Aldrich-Huminsäure gemessen werden (Uni Mainz).

Weitere Untersuchungen zum Komplexierungsverhalten von Schwermetallen mit Huminsäuren mittels verschiedener elektrochemischer Methoden werden durchgeführt. Die apparativen Gegebenheiten der CSV sollen durch Einführung eines internen Standards verbessert werden. Darüber hinaus sind Komplexierungsstudien mit CZE ohne vorhergehende Ultrafiltration vorgesehen. Die aufgebaute WDMT-Zelle muss überprüft und validiert werden (Uni Saarbrücken).

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

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

R. Artinger, C.M. Marquardt, J.I. Kim, A. Seibert, N. Trautmann, J.V. Kratz: *Radiochim. Acta* **88**, 609 (2000). G. Buckau, P. Hooker, V. Moulin, K. Schmeide, A. Maes, P. Warwick, Ch. Moulin, J. Pieri, N. Bryan, L. Carlson, D. Klotz, N. Trautmann: in *Humic Substances, Versatile Components of Plants, Solids and Water* (E.A. Ghabbour and G. Davies, eds.), p. 235-260. The Royal Society of Chemistry, 2000.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09596 Freiberg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9319</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Erweiterung der Datenbasis zur thermodynamischen Modellierung der Reaktionen CaSO <sub>4</sub> -haltiger Minerale und des Glaserits bei Temperaturen bis 200°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> vom 01.01.2000 bis 31.12.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 190.800,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Voigt	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens besteht darin, die thermodynamische Datenbasis des hexären Systems der ozeanischen Salze dahingehend zu erweitern, dass bis zu Temperaturen von 200°C die Löse- und Mineralbildungsprozesse zuverlässig beschrieben bzw. für beliebige Szenarien simuliert werden können. Mit den bisher verfügbaren Datenbasen ist dies nur eingeschränkt möglich.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Analytische Methodik
- AP 2: Anhydritlöslichkeit bei sehr hohen NaCl-Konzentrationen
- AP 3: Syngenit- und Gorgeyitlöslichkeit
- AP 4: Glauberitlöslichkeit
- AP 5: Glaseritlöslichkeit und -stöchiometrie
- AP 6: Modellierung des hexären Systems

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Es wurden ergänzende Arbeiten zu AP 1 durchgeführt und Arbeitspaket 4 abgeschlossen.

AP1: Mit der Einarbeitung eines neuen hochauflösenden Titrators ( $10^{-3}$  ml) und erneuten Testlösungen konnte für die komplexometrische  $\text{Ca}^{2+}$ -Titration eine Reproduzierbarkeit von 1 % erreicht werden. Die Endpunkterkennung erfolgt parallel mit einer Ca-Elektrode und visuell.

Es wurden Eichkurven für die  $\text{Na}^+$ -Bestimmung mittels Ionenchromatographie erstellt. Testmessungen führten zu einer Reproduzierbarkeit von 2 %.

AP4: Zur Untersuchung der Glauberit- und Anhydritlöslichkeit im System  $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  zwischen  $100^\circ\text{C}$  und  $200^\circ\text{C}$  wurden bodenkörperhaltige Lösungen in mit PTFE-Bechern ausgekleideten Ti-Pd-Autoklaven in einem Metallblockthermostaten ca. 1 Woche gerührt. Anschließend wurden die Bodenkörper von der Lösung mittels Hochtemperaturzentrifuge voneinander getrennt und die Lösung analysiert. Die Bodenkörper wurden raman-spektroskopisch identifiziert.

Polytherm-visuell wurde die Temperatur für die Ausfällung bekannter Bodenkörperzusammensetzung aus vorgegebenen Lösungskonzentrationen in Quarzglasampullen bestimmt. Zur Orientierung für die Konzentrationsvorgaben dienten die Ergebnisse der isothermen Löslichkeitsuntersuchungen.

### 4. Ergebnisse

Es wurde neben der Glauberitlöslichkeit bei  $150^\circ\text{C}$  und  $200^\circ\text{C}$  zur vollständigen Ermittlung des Phasendiagramms  $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  auch die Löslichkeit von Anhydrit bei diesen Temperaturen bis hin zu  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -Molalitäten von 0,5 bestimmt. Die bei  $100^\circ\text{C}$  in der Literatur (N. MÖLLER, Geochim. Cosmochim. Acta 1988, 52, 821) angegebenen Löslichkeiten wurden durch stichprobenartige Untersuchungen bestätigt.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Untersuchungen der Löslichkeit von Syngenit und Görgeyit (AP3) sowie zur Glaseritlöslichkeit und -stöchiometrie (AP5) werden durchgeführt und die Ergebnisse in eine thermodynamische Datenbasis eingearbeitet.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> IIF 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> vom 01.01.2000 bis 31.12.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 500.000,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kupsch	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gegenstand des Vorhabens ist die Vermessung der Komplexierung und Sorption von Actiniden in Wechselwirkung mit freien und oberflächengebundenen Huminkolloiden unter geogenen Bedingungen. Dazu werden Lanthan, Europium und Terbium als Analoga der Actiniden eingesetzt und natürliche, radiochemisch markierte Huminsäuren (Aldrich und Carlsfeld) verwendet. Der Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung des Einflusses von drei- und vierwertigen Konkurrenzэлектроlyten. In Verbindung mit Speziationsuntersuchungen in der wässrigen Phase werden die Konkurrenzreaktionen an den Oberflächendepositen mit radioanalytischen Methoden erfasst und kinetische Abhängigkeiten bestimmt. Die Untersuchungen dienen der Beurteilung des Ausbreitungsverhaltens radioaktiver Stoffe in geochemischen Systemen im Hinblick auf die Langzeitsicherheit von Endlagern. 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, Eu, Tb als Analoga der Actiniden in der wässrigen Phase unter geochemisch relevanten Konkurrenzbedingungen (organische und anorganische Liganden, Hydroxospezies)
- Vermessung von Konkurrenzreaktionen der starken Elektrolyte (Elemente der dritten Haupt- und Nebengruppe) zur Komplexbildung und Sorption der Huminsäuren
- Säulen- und Batchversuche zur Bestimmung der Sorptionsparameter
- Vermessung der reversiblen und irreversiblen Vorgänge der Sorption und Filtration mittels radioanalytischer Methoden (Doppelmarkierung):
  - direkte Messung der reversiblen und irreversiblen Kolloid-Matrix-Wechselwirkungen
  - direkte Messung der Desorptionsprozesse der Schadstoffe von Kolloiden mit anschließender Sorption an die Matrix
  - direkte Messung der irreversiblen Filtration an der Matrix

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Charakterisierung und Vergleich der Huminsäuren Aldrich / Carlsfeld (C-, H-, O-, N-, S Gehalt, Metallbeladung, Acidität, Molekülgrößenverteilung, Mobilität, Octanol-Wasser-Verteilung)
- Herstellung und Charakterisierung von Sc-43
- Untersuchung des Sorptionsverhaltens von La, Eu, Tb, Al, In, Sc, Zr an Seesand im ppm-Bereich bei Variation von pH-Wert und Ionenstärke in An- und Abwesenheit von Huminsäuren; Beginn der radioanalytischen Messungen im Ultraspurenbereich mittels La-140 und In-111
- Bestimmung von Komplexbildungskonstanten für das System La / Aldrich-Huminsäure in Abhängigkeit von pH-Wert und Ionenstärke im ppm-Bereich sowie im Ultraspurenbereich mittels La-140
- Untersuchungen zur Bildung retardierender organischer Deposite (Optimierung der I-131-Markierung von Huminsäuren zur Bestimmung von Sorptionsisothermen; Charakterisierung des Flockungsverhaltens bei Beladung mit Al in Abhängigkeit von pH-Wert und Ionenstärke).

### 4. Ergebnisse

Anhand von Batch-Experimenten wurde der Nachweis erbracht, dass die Sorptionseigenschaften von Metallspezies in huminstoffhaltigen Pseudophasensystemen in hohem Maße durch die geochemischen Milieuparameter bestimmt werden, wobei der pH-Wert die dominierende Variable ist. Aufgrund der pH-Abhängigkeit der Kolloid-Matrix-Wechselwirkung kann das Mobilisierungsverhalten von DOC gegenüber Metallionen innerhalb des geochemisch relevanten pH-Bereichs von 4 bis 7 umschlagen und bereits in schwach sauren Systemen retardierend wirksam werden. Die Gegenwart höherwertiger Konkurrenz-elektrolyte wirkt sich in erster Linie auf den Aggregationsgrad und mithin auf die Filtrationswirkung der Kolloide aus, wobei die Flockungsgrenze von der DOC-Konzentration und von den Milieuparametern abhängig ist. Im Gegensatz zu Adsorbaten sind die geflockten Deposite gegen Strömung instabil. Die vergleichende Charakterisierung der verwendeten Huminsäuren verdeutlicht insbesondere die Mobilitätsunterschiede zwischen aquatischen und Bodenhuminsäuren.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Fortsetzung der Sorptions- und Komplexbildungsuntersuchungen mit radioanalytischen und klassischen Methoden (ICP-MS, ICP-OES)
- Untersuchung des Einflusses konkurrierender geogener Metallionen (Al, Zr) auf Sorption und Komplexbildung
- Untersuchung des Kolloid-Matrix-Übergangs von Metallionen
- Vorbereitung von Säulenversuchen.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

K. Franke, D. Rößler, H. Kupsch; Production and use of carrier free Sc-43 for investigations of natural geochemical barriers; Proc. of 10<sup>th</sup> International Meeting of the International Humic Substances Society; IHSS 10, 24-28 July 2000, Toulouse (France); Vol. 2, 1243-1247 (2000)

<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> vom 01.05.2000 bis 30.04.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 364.980,00 DM	<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 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

- Berechnung der NaCl-Löslichkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Druck nach Pitzer-Peiper-Busey abgeschlossen
- Erstellung einer Messkonzeption zum Aufbau einer Apparatur zur Untersuchung der Einflüsse von Druck und Temperatur auf Umlöseprozesse am NaCl-Einkristall (AP 5)
- Vorbereitungen zum Aufbau dieser Apparatur
  - Beschaffung von NaCl-Einkristallen
  - Beschaffung von Geräten (HPLC-Pumpe, Autoklav) und Kleinteilen, die den speziellen Anforderungen gerecht werden
  - Herstellung von Kapillaren mit Durchmessern im  $\mu\text{m}$ -Bereich zur Durchströmung mit gesättigter NaCl-Lösung
- Erster Versuchsaufbau

### 4. Ergebnisse

- Es liegen berechnete Daten zur NaCl-Löslichkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Druck im Bereich von  $25^\circ\text{C}$  bis  $150^\circ\text{C}$  und von 1 bar bis 1000 bar vor
- Die Ergebnisse bestätigen den Löslichkeitsanstieg mit steigendem Druck. Diese Ergebnisse waren Grundlage für die Dimensionierung der Versuchsapparatur

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung erster Versuche zur Untersuchung der Einflüsse von Druck und Temperatur auf Umlöseprozesse an durchströmten Kapillaren im NaCl-Einkristall (AP 5)
- Erstellung einer Messkonzeption und Vorbereitungen zum Aufbau einer Apparatur zur Bestimmung der NaCl-Löslichkeit in Abhängigkeit von Druck und Temperatur (AP 5)

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> Battelle Ingenieurtechnik, Am Römerhof 35, 60486 Frankfurt		<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> vom 01.05.2000 bis 30.04.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.727.898,88 DM		<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

- Bereitstellung und Entwicklung 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

- Auswahl und Bestellungen von Komponenten für die Versuchsapparaturen
- Beschaffung und Herstellung von Probekörpern
- Umbau und Ertüchtigung der Versuchseinrichtungen für die Durchlässigkeitsuntersuchungen bei Temperaturen von bis zu 150 °C
- Test der Korrosionsbeständigkeit verschiedener Materialien für den Messzylinder der Spritzenpumpe (Volumenstrommessung)
- Durchführung von Permeabilitätsmessungen mit Gas bei Temperaturen bis 150 °C

### 4. Ergebnisse

- In der Versuchsapparatur kann die bei 150 °C angestrebte Temperaturkonstanz von +/- 0,2 °C realisiert werden
- Das vom Hersteller als Standard angebotene Material für den Messzylinder der Spritzenpumpe ist für die hier gestellten Anforderungen nicht geeignet, Hastelloy C22 erwies sich unter den Messbedingungen als ausreichend korrosionsbeständig
- nach ersten Messungen mit Gas hat die Temperatur keinen Einfluss auf die Permeabilitäts-/Porositätsbeziehung

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Test der Volumenstrommesstechnik mit Lauge als Messfluid bei Temperaturen bis 150 °C
- Inbetriebnahme der gesamten Versuchsapparatur zur Messung mit heißen Laugen
- Permeabilitätsmessungen mit Lauge bei Temperaturen von 90 °C und 150 °C
- Experimentelle Überprüfung der Literaturdaten zur Viskosität von Salzlauge bei 90 °C und 150 °C

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> Gruppe Ökologie, Kleine Düwelstraße 21, 30171 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9350</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Vergleichende Bewertung von Entsorgungsoptionen für radioaktive Abfälle		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.05.2000 bis 31.03.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 135.551,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Geol. Kreusch	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei der aktuellen Diskussion über verschiedene Alternativen zur möglichen Entsorgung radioaktiver Abfälle durch deren baldige Endlagerung, insbesondere Endlagerung mit Rückholbarkeit der Abfälle und Langzeit-Zwischenlagerung, stehen häufig isolierte Einzelaspekte im Vordergrund. Eine umfassende Bewertung der verschiedenen Entsorgungsoptionen im Hinblick auf ihre tatsächlichen Vor- und Nachteile ist bisher nicht vorgenommen worden.

Deshalb sollen die für die verschiedenen Entsorgungsoptionen genannten Argumente überprüft und die Optionen einer vergleichenden qualitativen Bewertung unterzogen werden. Aus dem Ergebnis sind mögliche Konsequenzen für das zukünftige entsorgungsstrategische Vorgehen in Deutschland abzuleiten.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Paket 1:

Darstellung der Entwicklung und des Standes der Diskussion bzw. Umsetzung der wichtigsten Entsorgungsoptionen in ausgewählten Staaten. Dabei Prüfung der für die jeweilige Option angeführten Argumente.

Paket 2:

Vergleichende Bewertung der Entsorgungsoptionen. Hierzu werden zunächst die Bewertungsgrundlagen erarbeitet. Dann ist diejenige Entsorgungsoption zu identifizieren, welche den jeweiligen übergeordneten entsorgungsstrategischen Zielvorgaben am nächsten kommt.

Paket 3:

Anhand der Ergebnisse der Pakete 1 und 2 sind die entsorgungsstrategischen Konsequenzen für Deutschland zu identifizieren, und gegebenenfalls sind Vorschläge für das weitere Vorgehen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle zu formulieren.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Die Arbeitspakete 1 bis 3 sind abgearbeitet worden.
- Derzeit Erstellung des Abschlussberichts im Entwurf.

### **4. Ergebnisse**

Ausgehend von der Darstellung der in ausgewählten Ländern angestrebten bzw. diskutierten Entsorgungsoptionen sowie ihrer jeweiligen Ziele und Begründungen wurden folgende Optionen einer qualitativen vergleichenden Bewertung unterzogen: "Baldige Endlagerung" mit schnellem Verschluss des Endlagers und Verzicht auf Rückholbarkeit und weitergehende Kontrollmaßnahmen, Endlagerung mit Rückholbarkeit, kontrollierte geologische Langzeitlagerung, Langzeitzwischenlagerung und Dauerlagerung.

Dabei zeigt sich die baldige Endlagerung unter Sicherheitsaspekten allen anderen Optionen überlegen. Auch unter den gegenwärtigen Zukunftsperspektiven der Kernenergie in Deutschland stellt die baldige Endlagerung die Option erster Wahl dar. Wenn aus anderen sicherheitsorientierten (z.B. ethischen) Gründen andere Optionen als die baldige Endlagerung verfolgt werden sollten, müssten Einbußen an der Sicherheit bzw. der Zuverlässigkeit des Sicherheitsnachweises in Kauf genommen werden.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Anfertigung Abschlussbericht

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstraße 21, 80290 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> vom 01.06.2000 bis 31.05.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.040.800,00 DM		<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**

Zur Realisierung der Vorhabensziele AP(I) und AP(II) wurden anorganische Fremdkolloide synthetisiert durch Säure-Base-Ausfällung von den Tonbildnern  $\text{Al}(\text{OH})_3$  und  $\text{Si}(\text{OH})_4$  in Anwesenheit von Tracermengen Am-241 (III).

Die Am-Aktivitätsverteilung zwischen Lösung und Niederschlag bzw. zwischen kolloidaler und molekularer Fraktion der Lösung wurde in Abhängigkeit vom pH, von der Si/Al/Na- Konzentration und von der Zeit bestimmt.

### **4. Ergebnisse**

Am Beispiel von Am-241-Tonkolloiden konnten die Einflussparameter für die Bildung von stabilen Fremdkolloiden nach dem naturgetreuen Entstehungsweg von aquatischen Kolloiden durch heterogene Nukleation und ausgehend von den einzelnen primären Grundwasserkomponenten gescreent werden.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

AP(I): Am Beispiel von synthetischen Tonkolloiden werden die Parameter die den Bildungsvorgang (heterogene Nukleation und Dispersion) sowie die Stabilität von Grundwasserkolloiden beeinflussen, weiter untersucht; Die stabilen Kolloide werden quantifiziert und durch Element-, Strukturanalytik sowie Größenverteilungsbestimmung charakterisiert.

AP(II): Wechselwirkung von Actiniden mit Grundwasserkolloiden: Am Beispiel von Am- und Pu-Tonkolloiden werden die relativen Anteilen von reversiblen und irreversiblen Am-Kolloid-Bindungen durch Oberflächensorptions- bzw. Inkorporationsreaktionen bestimmt.

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Stuttgart, Keplerstraße 7, 70550 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> vom 01.06.2000 bis 31.05.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 795.680,00 DM	<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 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. Untersuchung von Einzelklüften im Hinblick auf Ausgasungsprozesse und konstitutive Beziehungen
2. Entwicklung von Upscalingkonzepten zur Übertragung der konstitutiven Beziehungen
3. Einbindung geostatistischer Verfahren in die Modellierung von Kluftnetzwerken
4. Verbesserung der numerischen Methoden zur Berechnung von Systemen auf der Feldskala
5. Aufbau eines Modells auf der Feldskala
6. Dokumentation der Ergebnisse

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Bislang durchgeführte Arbeiten:

1. Das Zwei-Phasen-Zwei-Komponenten-Modell wurde um den Phasenzustand „WATER\_PHASE“ erweitert. Erste Simulationen grundsätzlicher Art wurden bzgl. des Phasenwechsels vom Phasenstand „BOTH\_PHASES“ zum Phasenstand „WATER“ durchgeführt.

2. Das Programmpaket MUFTE\_UG wurde erweitert, so dass Datenfelder zur Erfassung von Kluft-  
rauhigkeiten eingelesen werden können.
3. Es wurden erste Simulationen mit abgeschätzten Kluft-  
rauhigkeiten für Einzelklüfte, basierend auf  
den von den schwedischen Partnern veröffentlichten Daten, durchgeführt.
4. Um die von Kluftgebiet- und Gittergeneratoren erzeugten Gebietsbeschreibungen zur Simulation  
nutzen zu können, wurde ein Tool geschrieben, das die jeweiligen Daten für MUFTE\_UG nutzbar  
macht.
5. Für eine bessere Approximation der Geschwindigkeiten wurde die "Discontinuous Galerkin Finite  
Elemente Methode" implementiert, zunächst nur für Einphasenprobleme. Um die entstehenden line-  
aren Gleichungssysteme effizient lösen zu können, wurde das Mehrgitterverfahren von  
MUFTE\_UG angepasst.
6. Unterschiedliche Ansätze zur geostatistischen Erfassung der Kluft-  
rauhigkeiten wurden verglichen.
7. Verschiedene Upscaling-Methoden wurden theoretisch aufbereitet. Am erfolgversprechendsten  
erscheint ein Renormalisierungsansatz verbunden mit einem Perkolationsmodell.

#### **4. Ergebnisse**

Die mit den von den schwedischen Partnern Datensätzen durchgeführten Simulationen zeigen deutlich  
die Wichtigkeit der Erfassung der Kluft-  
rauhigkeiten im Hinblick auf Aussagen über das Migrations-  
verhalten von Gas in Kluft-Matrix-Systemen.

Ausführliche Tests bestätigen die verbesserten Approximationseigenschaften der "Discontinuous Ga-  
lerkin Methode" gegenüber der Finiten Volumen-Methoden, ein Resultat der höheren Approximations-  
ordnung. Das Mehrgitterverfahren für die "Discontinuous Galerkin Methode" ist der erste gut funktio-  
nierende iterative Löser für diese Diskretisierungsmethode.

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

Anhand von an Einzelklüften unternommenen Degassing-Experimenten sollen unterschiedliche Ansätze  
für konstitutive Beziehungen, die aus geostatistischen Verfahren hergeleitet wurden, miteinander ver-  
glichen werden.

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

keine

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

Bastian, P.; Chen, Z.; Ewing, R.E.; Helmig, R.; Jakobs, H.; Reichenberger, V.: Numerical Simulation  
of Multiphase Flow in Fractured Porous Media, in: Lecture Notes in Physics, Springer Verlag

Jakobs, H.; Helmig, R.; Reichenberger, V.; Basian, P.: Multiphase Multicomponent Processes in  
Fractured Porous Media, Eigenverlag des IWS (in Druck)

Basian, P.; Reichenberger, V.: Multigrid for Higher Order Discontinuous Galerkin Finite Elements Ap-  
plied to Groundwater Flow, IWR Preprint 2000, Universität Heidelberg, November 2000

<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> vom 01.06.2000 bis 31.05.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 821.837,00 DM	<b>Projektleiter:</b> 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 ( $>1E-20$  m<sup>2</sup>) 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 Lösungsports
- 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**

- Herstellung von Co-58 mittels Ni-58 (n, p)-Kernreaktion im Forschungsreaktor des FZ-Jülich
- Erprobung und Optimierung des Verfahrens zur Abtrennung des Tracerisotops vom Ni-Target
- Synthese der Tracerverbindung (Cobalthexacyano-Komplex)
- Batchtests mit Tonen und Salzgestein zur Überprüfung des konservativen Tracerverhaltens
- Arbeiten zur Entwicklung der tomographischen Bildrekonstruktion
- Konstruktion und Anfertigung von Baugruppen für die Hochdruckversuchsanlage

### **4. Ergebnisse**

- Entwicklung des Verfahrens zur Herstellung des Co-58 Tracers abgeschlossen
- Konservatives Tracerverhalten für Ton und Salzgestein nachgewiesen
- Erste Entwicklungsstufe des Bildrekonstruktionsverfahrens mit simulierten Datensätzen getestet

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Fertigstellung der Versuchsanlage
- Funktionstests der Anlage
- Weiterentwicklung des Bildrekonstruktionsverfahrens
- Phantommessungen mit Co-58 am GEO-PET

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

keine

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9390</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt "Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock - Phase II" FEBEX II		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.07.2000 bis 29.02.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 359.299,00 DM	<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.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projekts "FEBEX II" von der Europäischen Union gefördert.

## 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**

Die Instrumentierung im Versuchsfeld wurde nach eineinhalbjähriger Messpause überprüft und gewartet. Aus den Filterrohren am Erhitzer 1 wurden Gas- und Wasserproben für die Analyse entnommen. Da im Mai 2001 der Erhitzer 1 mit der umliegenden Instrumentierung freigelegt und ausgebaut werden soll, wurde für die Rückgewinnung der Filterrohre ein Programm erstellt und mit den übrigen Versuchsbeteiligten abgestimmt.

Für die Fortführung der Labor- und In-situ-Messungen wurde ein Testplan erstellt und mit den übrigen Versuchsbeteiligten abgestimmt.

### **4. Ergebnisse**

Die Analysen der Gasproben aus den Filterrohren im Versatz am Erhitzer 1 hat ergeben, dass insbesondere die Bildung und Freisetzung von Kohlendioxid aus dem Bentonit weitergeht. Der Versatzkörper wird weiter mit Formationswasser aus dem umliegenden Gebirge aufgesättigt. Da der Streckenverschluss nicht gasdicht ist, steigt der Gasdruck im Porenraum des Versatzes nicht an, d.h. ein sich bildender Überdruck entweicht kontinuierlich.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Im Mai 2001 soll der Erhitzer 1 freigelegt und mit den installierten Komponenten ausgebaut werden. Hierfür ist es notwendig, die Messgeräte in der Zugangsstrecke (Datenerfassungsanlage, Druckaufnehmer, Ventilstation) auszubauen und für den späteren Einsatz sicherzustellen. Vorher wird noch eine Permeabilitätsmessung im Versatz am Erhitzer 1 durchgeführt.

Die Filterrohre sollen rückgewonnen und begutachtet werden, um die Eignung für weitere ähnliche Versuche zu überprüfen.

Am Erhitzer 2 sollen neue Filterrohre mit den zugehörigen Beprobungsleitungen und einer Ventilstation installiert werden. Hierfür sind die Komponenten zu entwickeln, die Bohr- und Installationsarbeiten mit den übrigen Versuchsbeteiligten abzustimmen und die Komponenten zu bauen.

In Labor sollen die Proben für die Ermittlung der Gasentwicklung aus dem Versatz bei definierten physiko-chemischen Randbedingungen präpariert werden.

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

keine

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

Full Scale Engineered Barrier Experiment in Crystalline Host Rock-Phase II (FEBEX II) Report 70-ST-H-0-4 AITEMIN, November 2000

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 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" CORALLUS 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> vom 01.07.2000 bis 31.03.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 740.851,00 DM	<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 CORALLUS 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**

Im Untertagelabor HADES in Belgien ist das zweite Erhitzerbohrloch (CORALUS tube 2) installiert worden und die verschiedenen Versatzmaterialien sind mit synthetischen Formationswasser aufgesättigt worden. Von dem synthetischen Formationswasser sind vor Injektion Proben für die Bestimmung der gelösten Gase genommen worden.

Im Mol wurde die erste Projektbesprechung zur Koordination der geplanten Arbeiten abgehalten. Im Labor wurde mit der Präparation der Proben für die Ermittlung der Gasentwicklung aus den verschiedenen Versatzmaterialien begonnen.

### **4. Ergebnisse**

Das synthetischen Formationswasser hatte vor Injektion in die Versatzkörper des Erhitzerbohrloches keinen signifikanten Gehalt an gelösten Gasen.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Weiterführung der Probenpräparation für die Ermittlung der Gasentwicklung aus den verschiedenen Versatzmaterialien bei 100 °C in Abhängigkeit von der Zeit.

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Claushal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9410</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Transport und Rückhaltung von Schadstoffen in alterierten Klufbereichen 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> vom 01.10.2000 bis 30.09.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.10.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 395.128,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Mengel	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die übergeordneten Ziele liegen in der Beschreibung der Volumen- und Oberflächenanteile alterierter Klufbereiche 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 Klufoberflächen.
- 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 BMWi und SKB geregelte Zusammenarbeit im schwedischen Hartgesteinslabor „Äspö“.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Räumliche Verbreitung und Volumina von Klufbereichen
- AP 2: Mineralogie der Gesteinsoberflächen in Klufbereichen
- AP 3: Schadstoffrückhaltung in Klufbereichen
- AP 4: Modellierung der Rückhaltung im Referenzvolumen

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Im Oktober 2000 wurden 9 repräsentative Bohrkerne in Kluftbereichen beprobt und für die tomographischen Untersuchungen vorbereitet. Die Kluftflächen wurden für RDA- und EMPA-Untersuchungen zur Charakterisierung des mineralogischen und chemischen Stoffbestands präpariert. Da für die später im Projekt geplanten Experimente zur Bestimmung von Verteilungskoeffizienten Lösungen, die mit den granitoiden Wirtsgesteinen im Gleichgewicht stehen, benötigt werden, wurde ein frischer und ein stark alterierter Granitoid mit demineralisiertem Wasser versetzt und bei Zimmertemperatur sowie bei 55 °C zur Reaktion gebracht.

### **4. Ergebnisse**

Eine petrographische Inspektion von Bohrkernen im Kernlager des HRL Äspö ergab zusammenhängende Mikroklufsysteme mit sichtbaren Verheilungen durch Sekundärminerale im Bereich von 0.2 mm bis 2 m Abstand von einer fracture zone (NE1). Makroskopisch offene Klufsysteme beschränken sich auf die unmittelbare Umgebung der Störungszone. Die Weiterverbreitung im Gestein wird mittels Röntgentomographie im 10 µm-Maßstab ermittelt.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Im folgenden Halbjahr sollen die tomographischen Arbeiten durchgeführt und die räumliche Verteilung der Klufsysteme erfasst, visualisiert und quantifiziert werden. Anhand der vorbereiteten Klufpräparate soll die mineralogische und chemische Zusammensetzung charakterisiert werden.

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

keine

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 E 9420</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Allovo-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> vom 01.09.2000 bis 31.12.2002		<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.09.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 203.994,00 DM		<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 Untertagelabors 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 eines Testplans und dessen Vorlage bei ANDRA zur Abstimmung
- Durchführung von Vorversuchen zum Einsatz von DMS bei den geplanten Kriech- und Relaxationsversuchen
- Übernahme von 7 Kernproben aus der Schachtvorbohrung am Standort Meuse/Haute-Marne

### **4. Ergebnisse**

- Die Abstimmung des endgültigen Testplans dauert noch an
- Die Vorversuche an einer Vergleichsprobe aus Mt. Terri zeigten, dass die Deformationen (Dehnungen) im vorgesehenen Lastbereich bis 12 MPa weit unterhalb 1 % liegen dürften, so dass die Kriech- und Relaxationsversuche vorzugsweise unter der Verwendung von DMS durchzuführen sind. Applikationsprobleme traten bei dem verwendeten Material nicht auf. Die Untersuchungen ergaben zudem, dass die Verformung in axialer Richtung (senkrecht zur Schichtung der Tonsteinprobe) deutlich spannungsabhängig ist. Der Vergleich der Verformungen in axialer Richtung mit dem in radialer Richtung (parallel zur Schichtung der Tonsteinprobe) zeigt, dass die Probe in radialer Richtung wesentlich steifer als in axialer Richtung reagiert. Weiterhin wurden bleibende Verformungen nach Versuchsende beobachtet.
- Die Kernproben werden bis zur Aufnahme der Untersuchungen in einem klimatisierten Raum zwischengelagert

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Beginn der Untersuchungen zur Bestimmung

- der Gaspermeabilität ab Februar 2001
- der Kompressionsmoduli ab Juni 2001
- des Kriechverhaltens ab Februar 2001
- des Relaxationsverhaltens ab August 2001

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 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> vom 01.10.2000 bis 30.09.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.10.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 994.082,00 DM	<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 EBS-Task Force 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 EBS-Task Force diskutiert und ggf. modifiziert. Eine Überprüfung der Erkenntnisse erfolgt anhand der gegen Projektende verfügbaren Messdaten für den In-situ-Test.

Das Vorhaben ist eingebunden in die durch den Vertrag zwischen BMWi und SKB geregelte Zusammenarbeit im schwedischen Hartgesteinslabor "Äspö".

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Modellrechnungen

AS 1.1: vereinfachtes Modell

AS 1.2: Modellrechnungen

AS 1.3: Beobachtung der Task Force

AS 1.4: Dokumentation

Laboruntersuchungen

AS: Dokumentation

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Eine geeignete Software zur Modellierung der Aufsättigung wurde ausgesucht und beschafft.
- Mit dem vergleichenden Bericht über die Ergebnisse des Projekts „Zweiphasenfluss im geklüfteten Kristallin im Hartgesteinslabor Äspö – Strömungsverhältnisse im Stollennahfeld“ wurde begonnen.
- Es wurde mit der Planung der Versuche zur Ermittlung des Aufsättigungsverhalten der Bentonitkörper begonnen. Weiterhin erfolgte die Planung der auf die Versuche abgestimmten Apparaturen.

### **4. Ergebnisse**

Ergebnisse liegen noch nicht vor.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Abschluss des vergleichenden Berichts.
- Weiterentwicklung eines konzeptuellen Modells für die Bentonitaufsättigung.
- Entwicklung des einfachen Codes zur Simulation der Aufsättigung.
- Austausch mit SKB über ggf. noch benötigte Daten.
- Aufbau und Erprobung der Apparaturen zur Bestimmung des Aufsättigungsverhaltens der Bentonitprobekörper.
- Durchführung der Untersuchungen zum Aufsättigungsverhalten mit ÄSPÖ-spezifischer Lösung.

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

keine

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 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> vom 01.10.2000 bis 30.09.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.10.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.118.240,00 DM	<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

Es wurden Sorbentien aus folgender Stoffgruppen beschafft: Oxide (Geothit, Hämatit, Magnetit Korund), Sulfide (Pyrit, Bleiglanz, Zinkblende), Karbonate (Siderit), Sulfate (Anhydrit), Baustoffe (Braunkohlefilteraschen, Salzbeton). Vorgesehen sind weiterhin Versuche mit Borosilikatglas, reinen CSH-Phasen und Baustahl.

Die Messmethodik für Jod in hochsalinaren Lösungen mittels Titration wurde auf ihre Nachweisgrenze hin überprüft. An einer Verbesserung der erreichbaren Nachweisgrenze wird noch gearbeitet.

Die Messmethodik für Selen in hochsalinaren Lösungen mittels einer neubeschafften AAS mit Hydritgenerator und Graphitrohr wurde entwickelt.

### 4. Ergebnisse

Mit dem neu beschafften AAS-Gerät konnten mit Graphitrohr und Hydridgenerator dem Nachweis von 0,015 µg Selen/Liter bisher unerreicht niedrige Nachweisgrenzen für salinare Lösungen erzielt werden. In natürlichen NaCl-reichen und MgCl<sub>2</sub>-reichen Salzlösungen aus dem Forschungsbergwerk Asse liegen die Selenkonzentrationen bei 0,094 bzw. 9,4 µg/l. Mit der neuen Methode kann auch die Speziation von Se, d. h. Se<sup>IV</sup> und Se<sup>VI</sup> unterschieden werden.

Bei Jod liegt die bisher erreichte Nachweisgrenze mit  $<10^{-3}$  Mol/l noch zu hoch.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Die Nachweisgrenze für Jod soll durch weitere Arbeiten möglichst reduziert werden. Mit den Sorptionsversuchen soll in Kürze begonnen werden. Die Arbeiten für die Ermittlung von thermodynamischen Basisdaten für die geochemische Modellierung wurden geplant und sollen begonnen werden.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Sander, W. und Gleisner, H. (2001): Neue Dimensionen in der Selenanalytik hochsalinärer Lösungen. – GIT Labor-Fachzeitschrift, GIT Verlag GmbH, Darmstadt, im Januar 2001 eingereicht.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstr. 21, 80290 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> vom 01.11.2000 bis 31.10.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.11.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.052.737,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. 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 von ParaGauss

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

In Arbeitspaket 3 sollen projektspezifische Ergänzungen am Programmpaket ParaGauss durchgeführt werden.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Durchführung von Arbeitspaket (AP) 3.3 wurde begonnen. Konzeption, Auswahl und Bestellung eines Linuxclusters für die Anwendungsrechnungen wurde durchgeführt.

### **4. Ergebnisse**

Im Rahmen des AP 3.3 wurde mit der Implementierung des COSMO-Verfahrens zur selbstkonsistenten Berechnung der Wechselwirkung eines Moleküls mit einem als dielektrisches Kontinuum behandelten Lösungsmittel begonnen. Eine erste Version auf der Basis des Dichtefunktionalprogramms ParaGauss wird nichtrelativistische sowie skalarrelativistische Berechnungen erlauben.

Literatur: C. Amovilli, V. Barone, R. Cammi, M. Cossi, B. Menucci, C. S. Pomelli, J. Tomasi, E. Cances, *Advances in Quantum Chemistry* 32 (1998) 227.

Der für die Anwendungsrechnungen notwendige Linuxcluster wurde konzipiert, ausgewählt und bestellt. Er wird aus 8 dualen Pentium-III-Knoten verbunden durch Myrinet bestehen. Die Installation des Clusters ist für Ende Januar 2001 geplant, der Einbau des Netzwerks verzögert sich aufgrund von Lieferschwierigkeiten bis Ende Februar 2001.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

In den nächsten Monaten werden die Arbeiten an AP 3.3 fortgeführt, sowie Evaluierungsrechnungen zur Spin-Bahn-Wechselwirkung unter Einschluss der relativistischen Elektron-Elektron-Wechselwirkung (AP 3.2) aufgenommen.

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

keine

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

keine



## **2.2 C-Vorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Kali+Salz, Friedrich-Ebert-Str. 160, 34119 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> vom 01.08.1997 bis 30.09.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 13.299.913,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. 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

- AP1 - Laufende Projektbegleitung mit Kostenauswertung zum Stand des Projektes.  
Erstellen von Betriebsplänen zu aktuellen Projektaktivitäten
- AP2 - Fortführung von Konvergenz- und Temperaturmessungen bis zum Ende der Projektlaufzeit
- AP3 - Schotterbefüllung im Schacht SA II Füllortbereich 774m-Sohle und Fortsetzung der Messungen
- AP4 - Konzept zum Einbau von Bentonit und der Messinstrumente im Bohrschacht  
Konzept zur Versuchsdurchführung (Druckbeaufschlagung)  
Einbau und Qualitätsüberwachung der Messsysteme für den Bohrschachtversuch  
Eignungsuntersuchungen, Einbau und Qualitätsüberwachung von Bentonit in den erforderlichen Körnungen im unteren und oberen Dichtelement  
Einbau von Schotter, Kies und Sand in den erforderlichen Körnungen in der Druckkammer  
Betonieren des oberen Widerlagers  
Montage der Druckbeaufschlagungsanlage  
Erarbeiten von Durchführungsanweisungen für den Bohrschachtversuch  
Druckbeaufschlagung des Bohrschachtes mit Messwerterfassung  
Hydraulische Nullmessung mit Geoelektrikketten und dreidimensionale Modellierung  
Fortsetzung der Messungen mit Geoelektrikketten und Modellierung
- AP5 - Numerische und analytische silotheoretische Berechnungen zur Verfüllsäule aus Schotter  
Festlegung der Modellansätze für die hydraulische und mechanische Modellierung sowie der Kopplung beider Modelle. Vereinheitlichung der verwendeten Stoffgesetze und Referenzparameter basierend auf den aktuellen Materialuntersuchungen.

### 4. Ergebnisse

- AP3 - Geotechnische Messungen zur Schottersäule im Schacht I (Abschlussbericht)
- AP4 - Messkonzept für die Untersuchungen im Bohrschacht  
Durchführungsanweisungen für den Bohrschachtversuch  
Untersuchung der Eignung der Thetasonde zur quantitativen Feuchteerfassung
- AP5 - Gebirgsmechanische Berechnungen zum Dichtelement und zur Schottersäule  
Gebirgsmechanische und hydraulische Berechnung zur Langzeitsicherheit des Schachtverschlussbauwerkes

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- AP3 - Weitere Verfüllung, Einbau, Instrumentierung und Datenerfassung Schottersäule SA II
- AP4 - Fortsetzung der Druckhaltephase bei 40 bar im Bohrschachtversuch  
Drucksteigerung auf 70 bar mit anschließender Haltephase
- AP5 - Weiterführende hydraulische und gebirgsmechanische Modellrechnungen

### 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 0527</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> In-situ-Ermittlung von Strömungskennwerten natürlicher Salzgesteine in Auflockerungszonen gegenüber Gas und Salzlösungen unter den gegebenen Spannungsbedingungen im Gebirge		
<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> vom 01.10.1997 bis 31.01.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.240.660,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Häfner	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat als Ziele:

- die Entwicklung eines vertrauenswürdigen Verfahrens für In-situ-Durchlässigkeitsmessungen mit Gas und Salzlösungen, mit niedriger Messschwelle (Kammermethode),
- Durchlässigkeitsuntersuchungen an verschiedenen UTD-charakteristischen Standorten im Salinar mit Gas, dabei Untersuchung der Abhängigkeit von den geologischen Gegebenheiten, der Gebirgsspannung und der Vorgeschichte der Hohlräume
- Messungen in Gas und Salzlösung zur Korrelation der Gas- und Laugendurchlässigkeit.

Durchführung im Zusammenhang mit den Vorhaben „Langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke“ des Institutes für Bergbau der TU Bergakademie Freiberg und „Akustische Verfahren zur zerstörungsfreien Beurteilung von Auflockerungszonen im Salinar“ der Fraunhofer-Einrichtung für Akustische Diagnostik und Qualitätssicherung Dresden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1 Festlegung der Versuchsbedingungen, der Versuchsorte und Versuchsparameter
- AP 2 Versuchs- und Messtechnik
- AP 3 Theoretische Modelle
- AP 4 Vorbereitung der Versuchsorte sowie der Versuchsdurchführung
- AP 5 Durchführung der Messungen
- AP 6 Ergebnisanalyse, Endauswertung
- AP 7 Berichte

Erweiterung des Untersuchungsprogramms gegenüber der Planung um zusätzliche Durchführung der lt. Forderung des Dichtungsbauwerkerstellers notwendigen Dichtheitsuntersuchungen der Ortsbrust am Standort des Dichtungsbauwerks und am Standort eines Technikumsversuches.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Untersuchungsprogramm entsprechend AP 1-7:

- Durchführung von FRAC-Untersuchungen mit Öl und mit Gas in großflächig aufgefahrenen Streckender Grube "Glück Auf" Sondershausen und in einer Maschinenstrecke (kreisrund und in ungestörter Lage) der Grube Bernburg zur Untersuchung der im letzten Zwischenbericht dargelegten Probleme bei den FRAC-Untersuchungen
- Durchführung von Durchlässigkeitsuntersuchungen mit gesättigter Lauge in horizontaler Richtung der großflächig aufgefahrenen Strecke (R5) der Grube "Glück Auf"

### 4. Ergebnisse

- Alle durchgeführten FRAC-Untersuchungen (ob mit Öl oder mit Gas durchgeführt) zeigen bei Fluiddrücken größer 115 bar bis 140 bar Umströmungen im unmittelbaren Packerelementebereich, die noch nicht auf Rissbildungen durch den klassischen Frac zurückzuführen sind. Ein konstanter Ruhedruck nach einem Frac stellt sich in diesen Fällen auch nicht nach Unterschreiten dieser Drücke ein. Eine Massenbilanzmethode, unter Verwendung der Ergebnisse von Vierfachpackerfracversuchen wurde erfolgreich erprobt, um dennoch die minimale Hauptspannung zuverlässig ermitteln zu können.
- Die Untersuchungen mit gesättigter Lauge zeigen analog denen mit Gas eine Abnahme der Durchlässigkeit mit zunehmendem Abstand zur Kontur. Dies drückt sich in einer Abnahme des Laugenvolumenstroms bei Testen mit konstantem Laugendruck bzw. geringerem Druckabfall bei Druck-Puls-Testen aus. Die mit der Untersuchungsmethode mit gesättigter Lauge bestimmbar Permeabilitäten liegen im Bereich 10-15 m<sup>2</sup> bis 10-23 m<sup>2</sup>. Versuche mit Lauge, die nach Versuchen mit Gas durchgeführt wurden, ergeben die gleichen Permeabilitäten. Nachfolgend durchgeführte Versuche mit Gas ergaben Permeabilitäten, die um mehrere Zehnerpotenzen geringer waren.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Rechnerische Modellierung des Gebirgsbeanspruchungszustandes
- Berichterstellung

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FhG-München, Leonrodstraße 54, 80636 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0537</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung und In-situ-Test akustischer Verfahren zur zerstörungsfreien Beurteilung von Auflockerungszonen 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> vom 01.10.1997 bis 31.01.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.132.021,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. Kühnicke	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat die Entwicklung von aktiven Verfahren und den In-situ-Test von aktiven und passiven akustischen Verfahren zur zerstörungsfreien Charakterisierung des Auflockerungszustandes von Saumzonen vor und nach dem Einbau von Verschlussbauwerken zum Ziel. Schwerpunkte sind

- die Entwicklung einer aktiven akustischen Methode zur Charakterisierung des momentanen Auflockerungszustandes,
- der Vergleich des aktiven Verfahrens mit den Ergebnissen der Schallemissionsanalyse und den Permeabilitätswerten aus Packerversuchen,
- die Anwendung des aktiven und des passiven akustischen Verfahrens zur Beurteilung des Einbaortes eines Versuchsdammes bezüglich der Ausbildung von Auflockerungen und
- die Überwachung des Einflusses der Konvergenz des Gebirges und künstlicher Belastungen auf den Auflockerungszustand der Umgebung des eingebauten Versuchsdammes.

Das Vorhaben wird im Zusammenhang mit den Vorhaben der TU Bergakademie Freiberg „Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke im Salinar, Bau und Test eines Verschlussbauwerkes unter realen Bedingungen“ und „In-situ-Ermittlung der Durchlässigkeit von Salzgestein in Auflockerungszonen gegenüber Salzlösungen und Gas unter den gegebenen Spannungsbedingungen im Gebirge“ durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Arbeitspunkt 1:* Modelluntersuchungen zur Ankopplung der Bohrlochsonden und der Wellenausbreitung in der gradienten Saumzone
- Arbeitspunkt 2:* Voruntersuchungen zur Auswahl der geeigneten aktiven Methoden (Entwicklung von Sensoren, Messsystemen und Auswertalgorithmen, Labortests)
- Arbeitspunkt 3:* Entwicklung des aktiven Verfahrens zur Anwendungsreife unter Tage (Test im Salzbergwerk)
- Arbeitspunkt 4:* Anwendung des aktiven Verfahrens zur Beobachtung der Auflockerungszone bei der Auffahrung einer Strecke und Vergleich mit den Ergebnissen des passiven Verfahrens und der Permeabilitätsmessungen

- Arbeitspunkt 5:* Anwendung des aktiven und passiven Verfahrens zur Langzeitüberwachung der Auflockerungszone während der Belastung eines Versuchs-Dammbauwerks
- Arbeitspunkt 6:* Auswertung und Abschlussbericht

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Arbeitspunkt 1:* Die Modelluntersuchungen im Berichtszeitraum konzentrierten sich auf die Momententensoranalyse mit P- und S-Welleneinsätzen und der damit in Zusammenhang stehenden Beschreibung der Richtcharakteristiken von punktförmigen Sensoren.
- Arbeitspunkt 2:* Die Untersuchungen zur Richtcharakteristik der Sensoren wurden im Labor am Salzblock mit dem Ziel fortgeführt, S-Welleneinsätze für die Verbesserung der Momententensoranalyse mikroseismischer Quellen zu nutzen .
- Arbeitspunkte 3-4:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.
- Arbeitspunkt 5:* In unmittelbarer Umgebung des Versuchsverschlussbauwerks (EU 1) wurde eine mikroseismische Überwachungseinrichtung installiert.
- Arbeitspunkt 6:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### **4. Ergebnisse**

- Arbeitspunkt 1:* Neu ist eine Sensorbeschreibung, die nur wenige freie Parameter enthält. Damit kann erstmals eine Momententensoranalyse mit P- und S-Welleneinsätzen durchgeführt werden.
- Arbeitspunkt 2:* Es wurde ein Messplatz aufgebaut, der die Bestimmung der Parameter des neuen Sensormodells ermöglicht.
- Arbeitspunkt 5:* Das Messsystem wurde erweitert, um eine optimale Langzeitüberwachung des Versuchsverschlussbauwerks in der Maschinenstrecke EU1 Sondershausen zu realisieren. Insbesondere wurden eine Fernüberwachung sowie neue Auswahlalgorithmen und Speichermöglichkeiten für die mikroseismischen Ereignisse installiert.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten zu allen Arbeitspunkten werden planmäßig fortgeführt.

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

keine

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

H. Kühnicke, O. Reutter, F. Schubert „Zerstörungsfreie Messmethoden zur Charakterisierung und Überwachung von Auflockerungszonen“, 51. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Freiberg, 2000

<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> vom 01.10.1997 bis 31.01.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 5.133.938,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. 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 Detection 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 Qualitätssicherungsprogrammes 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 1: Weiterbearbeitung des Zwischenberichtes.
- AP 2: Vorläufiger Bericht liegt vor.
- AP 3: Vorläufiger Bericht liegt vor.
- AP 7: Das Versuchsverschlussbauwerk wurde am 14.07.2000 fertiggestellt.
- AP 8/9: Versuchsbeginn: 11.09.2000.

### 4. Ergebnisse

- AP 7: Bei den Bauarbeiten gab es keine gravierenden Abweichungen vom Projekt.
- AP 8/9: Der Versuch begann mit der Flutung der Druckkammer I. Die Druckbeaufschlagung mit Salzlösung erfolgte entsprechend Versuchsprogramm.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- AP 1: Weiterbearbeitung des Berichtes.
- AP 3: Durchführung eines Standsicherheitsnachweises mit Programm ABACUS für das Gesamtbauwerk.
- AP 8/9: Weiterführung der Versuchsphase 1.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Aland, J.; Koch, G.; Sitz, P.:

Einsatz der Seilsägetechnik zur Herstellung von Hohlraumkonfigurationen für untertägige Streckenverschlussbauwerke. BERGBAU 12/2000 (51. Jhg.), Essen

Sitz, P.; Eulenberger, K.-H.; Ehrhardt, K.; Gruner, M:

New Materials for Backfill, Sealing and Load-distribution for Underground Use. Underground Construction 2000, Krakow 25-27, Wrzesnia 2000

Sitz, P.; Breidung, K. P.; Ehrhardt, K.:

Development of new materials and technical layouts of the long-term sealing systems and backfill. DisTech 2000 Proceedings, p. 590-595

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Leipzig, Talstraße 35, 04103 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0558</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Komplexes Mess- und Auswertinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und UTD im Salinar - Geologie, Einbeziehung von Geoelektrik und Seismik		
<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> vom 01.07.1998 bis 30.06.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.192.454,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Jacobs

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die untertägige Erkundung der geologischen Barriere von Endlagern und UTD ist eine wichtige Voraussetzung für Planung und qualifizierten Sicherheitsnachweis. Es existieren hierfür leistungsstarke physikalische Verfahren, die jedoch unter ungünstigen Bedingungen unzureichend aussagekräftig sind (z.B. an Feuchtezonen). Ebenso kann die Interpretation der Daten ein Problem darstellen. Das Vorhaben hat, gemeinsam mit den Vorhaben "- elektromagnetische Verfahren" (02 C 0578) und "- Sonarverfahren" (02 C 0568) die Lösung dieser Probleme durch Verbesserung der Verfahren, durch die kombinierte Anwendung verschiedener Verfahren und durch neue Auswertalgorithmen zum Ziel, mit In-situ-Messungen an Problemzonen in einer Grube. Gegenstand ist die Einbindung geoelektrischer und seismischer Verfahren in das komplexe System.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- 1) Identifizierung von Referenzmessorten in der Grube Bischofferode
- 2) Anpassungsmessungen der Einzelverfahren mit Orientierungsmessungen
- 3) Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter im Labor und in situ
- 4) Modellierung
- 5) Gemeinsame Messkampagne mit allen Verfahren
- 6) Entwicklung eines komplexen Mess- und Auswertinstrumentariums

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Widerstandsmessungen bei gleichzeitiger Messung und Variation des Feuchtegehalts von Miniproben, sowie tomographische Widerstandsmessungen an Bohrkernen wurden durchgeführt.

Die Vollraum-Modellierungen auf der Basis von FE-Berechnungen wurden fortgesetzt anhand eines verbesserten Modells, das die Ergebnisse der Projektpartner einbezieht. Die 3D-FE-Modellierung der Streckengeometrie wird zur Verbesserung der Ausgangsdaten für eine 2D-Widerstands inversion genutzt, mit deutlich verbesserten Resultaten.

Geoelektrik-Messungen zwischen Oberfläche und Strecke als Ergänzung der Untertagemessungen befinden sich in der Planung.

Die seismischen Daten wurden unter Berücksichtigung der Bohrungsinformationen geologisch interpretiert und ein strukturelles Bild des Hangenden erzeugt.

#### **4. Ergebnisse**

Labormessungen: Die simultanen Wassergehalts-Widerstandsmessungen an Minikernen ergeben hinreichend sichere Basisdaten für die Entwicklung eines petrophysikalischen Modells für den Zusammenhang der beiden Parameter. Gleichzeitig bilden die Tomographie-Ergebnisse eine Grundlage für die Übertragung auf die makroskopischen Bedingungen.

Das FE-Modell muss in der Nähe der Einspeiseelektroden verhältnismäßig detailliert und fein gerastert vorgegeben werden, weil an diesen Singularitäten der Einfluss aus dem Nahbereich groß ist und dadurch sich Fehler stark auf die benachbarten Messpunkte auswirken. Ein neu erstelltes geometrisches Modell diene zur Optimierung des Detailreichtums bei gleichzeitiger Minimierung der Elementanzahl.

Anhand einer Auswahl von Messdaten wurde gezeigt, dass sich die Modellierungsergebnisse bei angenommener Homogenität des Materials zur Korrektur der Eingangsdaten für die 2D-Inversion eignen.

Die geologische Interpretation liefert ein strukturelles Bild mit Schichtgrenzen sowie Indikationen für Störungen und Bereiche verringerter Festigkeit. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung der gefundenen Störungen und vermuteten Auflockerungszonen mit geoelektrischen Anomalien, die auf eine mit den Störungen einhergehende Feuchtezone hinweisen.

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

Parameterbestimmung im Labor: Weitere Widerstandsmessungen in Abhängigkeit vom Wassergehalt, besonders anhand von Proben aus tomographisch untersuchten Kernen.

3D-FE-Modellierung mit möglichst realistischen Modellen.

Interpretation der seismischen Daten in Zusammenhang mit den Ergebnissen der anderen geophysikalischen Verfahren.

Erstellung eines gemeinsamen Modells.

Vorbereitung des Abschlussberichts.

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

keine

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

J. Kulenkampff, L. Aschmann: Detektion von Problemzonen mit komplexen geoelektrischen Untersuchungen: Auswertung geoelektrischer Messungen. IX. Arbeitsseminar „Hochauflösende Geoelektrik“, Bucha b. Leipzig

J. Kulenkampff, L. Aschmann, F. Jacobs, G. Kurz, E. Moise, R. Schulz: Detection of problem zones in salt-rock with complex geophysical measurements: Results of underground geoelectrics. 6. Meeting Environmental and Engineering Geophysics, Bochum.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FhG-München, Leonrodstraße 54, 80636 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0568</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Komplexes Mess- und Auswerteeinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponien im Salinar; Einbeziehung von Sonarverfahren		
<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> vom 01.07.1998 bis 31.01.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 880.000,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Kühnicke

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die untertägige Erkundung der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponien ist eine wichtige Voraussetzung für deren Planung und den zugehörigen qualifizierten Sicherheitsnachweis. Es existieren hierfür leistungsstarke physikalische Erkundungsverfahren, die jedoch unter ungünstigen Bedingungen unzureichend aussagefähig sind (z.B. an Feuchtezonen). Ebenso kann die Interpretation der gewonnenen Daten ein Problem darstellen. Das Ziel des Vorhabens „- Einbeziehung von Sonarverfahren“ ist es, gemeinsam mit den Vorhaben „- Geologie, Einbeziehung von geoelektrischen und seismischen Verfahren“ und „- Einbeziehung von elektromagnetischen Verfahren“ diese Probleme durch Weiterentwicklung der Verfahren, durch die kombinierte Anwendung der verschiedenen Verfahren, durch neue verfahrensübergreifende Auswertelgorithmen und mit Hilfe von In-situ-Messungen an Problemzonen in einer Grube zu lösen. Das Vorhaben hat Untersuchungen zur Weiterentwicklung und zur Einbeziehung von Sonarverfahren in das komplexe untertägige Erkundungssystem zum Gegenstand.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Arbeitspunkt 1:* Auswahl und Charakterisierung von Referenzmessorten in der Grube Bischofferode
- Arbeitspunkt 2:* Messkampagne in der Grube Bischofferode
- Arbeitspunkt 3:* Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter in situ und im Labor
- Arbeitspunkt 4:* Modellierung der Sende- und Empfangseinrichtungen, der Reflektoren und der zu dedektierenden und zu bewertenden Problemzonen
- Arbeitspunkt 5:* Weiterentwicklung von Auswertelgorithmen der Einzelverfahren
- Arbeitspunkt 6:* Entwicklung eines komplexen Mess- und Auswerteeinstrumentariums
- Arbeitspunkt 7:* Auswertung und Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten

*Arbeitspunkte 1-4:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

*Arbeitspunkt 5:* Die Verfahren zur Messdatenaufbereitung sind verfeinert worden. Dies gilt insbesondere für den Ausgleich von Ankoppelschwankungen und Dämpfung der Signale in ungesteuerten Gesteinsbereichen.

*Arbeitspunkt 6:* Der Datenaustausch mit den Hannoveraner Projektpartner wurde über ein abgesprochenes Datenformat vollzogen.

*Arbeitspunkt 7:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

### 4. Ergebnisse

*Arbeitspunkt 5:* Die neuen Algorithmen zur Messdatenaufbereitung erlauben eine verbesserte SAFT-Rekonstruktion. Sowohl die Messungen in Richtung Firste als auch die in Richtung Sohle wurden ausgewertet. Nur die Zone, welche sich direkt an die Bohrlöcher anschließt, konnte mit dem verwendeten Messverfahren nicht erkundet werden, weil sich die zwischen den Sensorbohrungen laufenden Transversalwellen mit den Longitudinalwellen aus dem Beobachtungsraum überlagern. Das verbesserte Signal-Rausch-Verhältnis erlaubt Aussagen bis in eine Tiefe von 90 m. Die Übertragung der Ergebnisse in spezielle graphische Darstellungsformen gewährleistet die Einbeziehung der Sonardaten in das komplexe Auswertearbeitsinstrumentarium.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten zu allen Arbeitspunkten werden planmäßig fortgeführt. Im Mittelpunkt stehen Zuarbeiten zum komplexen Auswertearbeitsinstrumentarium und der Abschlussbericht.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

H. Kühnicke, O. Reutter, F. Schubert (2000) "Zerstörungsfreie Messmethoden zur Charakterisierung und Überwachung von Auflockerungszonen", 51. Berg- und Hüttenmännischer Tag, 14.-16. Juni 2000, Freiberg

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben, Stilleweg 2, 30655 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0578</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Komplexes Mess- und Auswerteeinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und UTD im Salinar -Einbeziehung elektromagnetischer Verfahren-		
<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> vom 01.07.1998 bis 30.06.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 877.300,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Schulz	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die untertägige Erkundung der geologischen Barrieren von Endlagern und Untertagedeponien ist eine wichtige Voraussetzung für Planung und qualifizierten Sicherheitsnachweis. Zwar existieren hierfür leistungsstarke physikalische Verfahren, die jedoch unter ungünstigen Voraussetzungen insbesondere in Problemzonen (Kluftzonen, Laugentaschen, Feuchtbereiche) als Einzelverfahren unzureichend aussagekräftig sind. Das Teilvorhaben "Elektromagnetische Verfahren" hat im Verbund mit den Teilvorhaben "- Geologie, Geoelektrik und Seismik" und "Sonarverfahren" zum Ziel, durch kombinierte Anwendung der unterschiedlichen Verfahren und durch neue Auswertelgorithmen anhand von In-situ-Messungen an Problemzonen in einem Bergwerk ein Instrumentarium zu entwickeln, das eine von Bohrungen unabhängige sichere Detektion und Bewertung der untertägigen Problemzonen erlaubt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Identifizierung von Referenzmessorten in der Grube Bischofferode
- AP2: Anpassung der Einzelverfahren mit Orientierungsmessungen
- AP3: Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter im Labor und in situ
- AP4: Modellierung
- AP5: Gemeinsame Messkampagne mit allen Verfahren
- AP6: Entwicklung eines komplexen Mess- und Auswerteeinstrumentariums

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- AP1, 2, 3 und 5: abgeschlossen
- AP4: Neue Ansätze für die elektromagnetische Modellierung im Vollraum wurden entwickelt: Vergleich zwischen Halb- und Vollraum für kleinen Induktionsparameter.
- AP6: Umsetzung des Konzeptes zur kombinierten Interpretation für die Messdaten der Elektromagnetik, Georadar und Geoelektrik ist abgeschlossen.

#### 4. Ergebnisse

Für die Interpretation der Daten des elektromagnetischen Horizontalspulenverfahrens wurden einfache Modelle entwickelt und ein Vergleich zwischen Halb- und Vollraum der Out-of-Phase- Komponente für kleine Induktionsparameter und Schichtmodell durchgeführt. Der Einfluss unterschiedlicher Spulenhöhen auf die Richtwirkung des Messsystems wurde ebenfalls untersucht. Es zeigte sich, dass bei der maximal erreichbaren Höhe im Stollen von 2 m kein signifikanter Messeffekt erreicht wird.

Die Interpretation der Radarmessungen bezüglich horizontaler Schichten wurde in das Liegende und weitestgehend auch in das Hangende abgeschlossen. Für das Radarverfahren wird das Anomaliekriterium über die Amplituden der Spuren bestimmt. Dabei werden die Spuren gesammelt und für diskrete Laufzeiten eine Häufigkeitsverteilung berechnet. Der Maximalwert der Amplituden wird über Kalibrationsmessungen an bekannten feuchten Zonen festgelegt. Anschließend wird mit Hilfe der Halbwertsbreite unter Berücksichtigung der Skewness leitfähige Bereiche von dem Noise extrahiert.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

Der Schwerpunkt liegt im Jahr 2001 im Abschluss der statistischen Interpretation der Verfahren. Um die Daten vergleichbar zu machen, muss für die Seismik und das Sonar ebenfalls ein Anomaliekriterium entwickelt werden. Dabei wird auf Erfahrungen zurückgegriffen, die bei der Entwicklung für das Radarverfahren gemacht wurden. Durch ein einheitliches Griddingverfahren werden die Datensätze korreliert. Die so gewonnenen Informationen fließen in ein dreidimensionales geologisches Modell ein. Für die Einbindung der elektromagnetischen Messungen werden weitere Untersuchungen durchgeführt, um Möglichkeiten über Aussagen der Richtungsabhängigkeit zu bekommen. Dafür wird es notwendig sein, die In-Phase-Komponente mit zu berücksichtigen und sich von der Annahme des kleinen Induktionsparameters zu lösen. Bei den Radarmessungen werden Untersuchungen von Störungs- und Kluftezonen vorgenommen, die nicht horizontal ausgebildet sind. Dadurch wird die strukturelle Interpretation abgeschlossen. Am Ende steht die Erstellung eines Abschlussberichtes.

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

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

KURZ, G., MOISE, E. & SCHULZ, R. (2000): Electromagnetic Horizontal-Loop-Measurements in the salt mine of Bischofferode (Germany). - Extended Abstract, EM05, 6<sup>th</sup> Meeting of Environmental and Engineering Geophysical Society European Section, September 3.-7. 2000, Bochum.

MOISE, E., KURZ, G. & SCHULZ, R. (2000): Applications of ground penetrating radar in the salt mine of Bischofferode. - Extended Abstract, GR05, 6<sup>th</sup> Meeting of Environmental and Engineering Geophysical Society European Section, September 3.-7. 2000, Bochum.

KULENKAMPFF, J., ASCHMANN, L., JACOBS, F., MOISE, E., KURZ, G. & SCHULZ, R. (2000): Detection of problem zones in salt-rock with complex geophysical measurements: Results of underground DC-geoelectrics. - Extended Abstract, P-WD01, 6<sup>th</sup> Meeting of Environmental and Engineering Geophysical Society European Section, September 3.-7. 2000, Bochum.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Claushal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0588</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Mechanische und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen des grubenraumnahen Gebirges in Verbindung mit der Planung von Damm- und Verschlussbauwerken im Salinar -Teil A: Mechanische Modellbildung und mechanisch-hydraulische Tragwerksanalyse-		
<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> vom 01.07.1998 bis 30.11.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.031.373,36 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Lux	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Auflockerungszonen im Nahbereich von Strecken, Schächten, Bohrlöchern und Kavernen mit erhöhter Permeabilität setzen die Wirksamkeit geologischer und geotechnischer Barrieren gegen eine Schadstofffreisetzung aus abgelagerten Abfällen herab und bedeuten daher einen kritischen Befund für die gesetzlich geforderte sichere und nachsorgefreie Ablagerung der Abfälle in untertägigen Deponien. Durch Laborversuche an axial gelochten Großbohrkernen sollen die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften der Auflockerungszonen quantifiziert und hinsichtlich ihrer wechselseitigen Beeinflussung untersucht werden. Ziel der Versuche ist es, ein Stoffmodell zu entwickeln, welches eine Berechnung der Porosität bzw. Porositätsänderung in Abhängigkeit von den mechanischen Belastungsrandbedingungen ermöglicht. Durch eine Verknüpfung dieses Stoffmodells mit einem geeigneten Stoffmodell zur Beschreibung der hydraulischen Wirksamkeit von Auflockerungszonen (Porositäts-Permeabilitätsbeziehung) soll schließlich eine gekoppelte mechanische Simulation von Auflockerungszonen realisiert werden.

Bezug zu anderen Vorhaben: Hydraulische Modellbildung - Prof. Pusch / Teil B

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- a) Aufarbeitung der vorhandenen Erkenntnisse zu geomechanisch-geohydraulischen Wechselwirkungen im Salinar und Formulierung einer diese Prozesse quantifizierenden Arbeitshypothese.
- b) Implementierung des hypothetischen Stoffmodellansatzes zur Beschreibung der Gefügauflockerung (Dilatanz).
- c) Rechnerische Ermittlung von charakteristischen Beanspruchungszuständen im Streckennahbereich.
- d) Aufbau eines Versuchsstandes zur Durchführung von Versuchen an axial gelochten Großbohrkernen.
- e) Gewinnung von Bohrkernmaterial.
- f) Laborversuche zur Entstehung von Auflockerungszonen bei variierten Beanspruchungsrandbedingungen ( $\sigma, t$ ).
- g) Quantifizierung der hydraulischen Wirksamkeit von Auflockerungszonen.
- h) Erweiterung der vorhandenen FE-Software um den neu entwickelten geohydraulischen Teil (Teil B),

- i) Numerische Simulation der Experimente an axial gelochten Großbohrkernen zur Validation.
- j) Prüfung (Verifizierung, Falsifizierung) der Arbeitshypothese, gegebenenfalls Modifizierung.
- k) Anwendung der neuen FE-Software auf die rechnerische Simulation der mechanisch-hydraulischen Prozesse im Saumbereich von Abdichtungsbauwerken.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Hydraulisch-mechanische Inbetriebnahme Modellprüfstand;
- Elektrischer Anschluss Modellprüfstand;
- Programmierung Versuchssoftware Modellprüfstand;
- Konstruktion und Bau der Durchströmungseinrichtung für Modellprüfstand;
- Testversuche Durchströmung von Prüfkörpern unter mechanischer Belastung;
- Testversuche axialgelochte Prüfkörper mit und ohne Innendruck;
- Planung und Konstruktion neuer Druckstücke zur Aufnahme der Ultraschallprüfköpfe;
- Herstellung von Salzprüfkörpern;
- Durchführung von Kriech- und Festigkeitsversuchen zur Ableitung der Stoffmodellparameter Hou/Lux;
- Bestimmung der Stoffmodellparameter Hou/Lux auf der Basis von Laborversuchen;
- Mechanisch-hydraulisch gekoppelte FEM-Berechnungen für ein artifizielles Dammbauwerk;
- Numerische Simulation axialgelochter Versuche;
- Numerische Berechnung von axial gelochten Großbohrkernen zur Festlegung der Versuchsrandbedingungen.

### **4. Ergebnisse**

- Mechanische Inbetriebnahme Modellprüfstand;
- Programmtechnische Steuerung Modellprüfstand;
- Testversuch Modellprüfstand mit und ohne Innendruck;
- Abschluss der Kriech- und Kurzzeitversuche zur Ermittlung der Stoffmodellparameter Hou/Lux;
- Parameterbestimmung für Stoffmodellparameter Hou/Lux auf der Basis von Laborversuchen;
- Numerische Simulation des Tragverhaltens der aufgebockerten Saumzone im Streckenbereich;
- Numerische Simulation des Strömungsverhaltens der aufgelockerten Saumzone im Streckenbereich.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Herstellung geeigneten Prüfkörpermaterials aus den erbohrten Kernen;
- Durchführung von Laborversuchen an axialgelochten Großbohrkernen;
- Integration der Ultraschallmessung in Modellprüfstand;
- Versuch mit axial gelochten Großbohrkernen bei gleichzeitiger Durchströmung und Durchschallung;
- Numerische Simulation von Versuchen an axialgelochten Großbohrkernen.

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0598</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Mechanische und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen des grubenraumnahen Gebirges in Verbindung mit der Planung von Damm- und Verschlussbauwerken im Salinar -Teil B: Hydraulische Modellbildung-		
<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> vom 01.07.1998 bis 30.06.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 876.750,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Pusch	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Ziele des Vorhabens sind die Entwicklung und Validierung eines Stoffmodells zur Simulation mechanisch-hydraulischer Prozesse in aufgelockerten Saumzonen für die Analyse der Langzeitsicherheit von Abdichtungs- und Verschlussbauwerken über die Zeit. Insgesamt soll mit dem Vorhaben die Grundlage für eine quantifizierende Prognose des geomechanisch-hydraulischen Verhaltens von geotechnischen Barrieren als Teil des Langzeitsicherheitsnachweises geschaffen werden. Durch experimentelle Untersuchungen an homogenen Salzkörpern sollen die mechanischen Entstehungsbedingungen von Auflockerungszonen untersucht und die hydraulischen Auswirkungen bestimmt werden.

Bezug zu anderen Vorhaben: Prof. Lux, TU Clausthal-Teil A: Mechanische Modellbildung und mechanisch-hydraulische Tragwerksanalyse.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

B1: Modellhafte Untersuchung der Entstehung von Auflockerungszonen und ihrer geometrischen Struktur anhand von Versuchen an homogenen Salzkörpern unter den im Arbeitspaket A1 vorgegebenen Randbedingungen.

B2: Untersuchung der hydraulischen Wirksamkeit von Auflockerungszonen und ihr zeitlicher Verlauf.

B3: Erarbeitung von Stoffmodellen für den Zusammenhang von mechanischen und hydraulischen Eigenschaften zur Überprüfung und Verbesserung des derzeitigen Kenntnisstandes. Dabei werden zeitabhängige Aspekte in die Untersuchungen einbezogen, um die durch die Konvergenz des Hohlraumes bewirkte Rückbildung der Gefügeveränderungen zu berücksichtigen.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Kompressions-Extensionsversuche: Sechs Kompressionsversuche wurden mit der neuen TRIAX-300-Zelle durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Bezug auf die geplanten Testprogramme ausgewertet worden. Für jeden Versuch wurde die Dilatanz-Kompressionsgrenze bestimmt und die Abhängigkeit von Radialbelastung und Belastungsgeschwindigkeit in Form der volumetrischen Ausdehnung, der Axialbelastung, des Belastungsverhältnisses und des Permeabilitätsverhaltens dargestellt.

Akustische Messungen: Zwei der Kompressionsversuche wurden mit akustischen Messungen gekoppelt. Um die Auflösung beim Orten der Risse verbessern zu können, wurden die Messungen auf eine Hälfte des Kernes konzentriert. Hierbei ist festgestellt worden, dass die Dilatanzgrenze mit Hilfe der Kumulativen Häufigkeit der akustischen Ereignisse bestimmt werden kann. Trotz der geänderten Anordnung der Akustik-Sensoren auf den Salzkernen, konnte keine verbesserte Lokalisierung der Risse erreicht werden.

Visualisierungsarbeiten: Das Visualisierungsprogramm wurde fertiggestellt und ein Bericht über die Entstehung und Entwicklung der Risse unter deviatorischen Spannungen erstellt. Dieser basiert auf optischen Untersuchungen, sowie auf den Ergebnissen von SEM Messungen.

Hydraulische Modellbildung: Ein Modell, basierend auf experimentelle Ergebnisse, für eine empirische Kopplung von Dilatanz und Permeabilität durch mechanische Effekte wurde gemäß dem Arbeitsprogramm durchgeführt. Ein analytisches Modell wurde weiterentwickelt und in Bearbeitung genommen.

### 4. Ergebnisse

1. Das Dilatanz-Permeabilitätsverhalten für das Asse Salz wurde als Funktion von deviatorischen Belastungen experimentell bestimmt.
2. Das Verhalten der Risse (Öffnung der Risse) unter Biaxialbelastung wurde mit optischen Verfahren dargestellt.
3. Eine halbempirische Korrelation wurde entwickelt, um die deviatorische Spannungs-Permeabilitätsbeziehung zu modellieren.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Kompression-Extensionsversuche: Die Kompressions-Extensionsversuche werden nach Auswertung und unter Berücksichtigung der erhaltenen Ergebnisse fortgeführt. Insgesamt sind fünf weitere Versuche geplant.

Akustische Messungen: Zwei Versuche mit akustischen Messungen werden noch mit neuer Sensoranordnung durchgeführt.

Hydraulische Modellbildung: Die Ergebnisse der Visualisierung von Rissbildungen und Rissentwicklung sowie die TRIAX-Messungen werden analytisch weiterbearbeitet. Ein Modell, das auf der Perkolationstheorie basiert und nur auf experimentellen Daten aufbaut, befindet sich zur Zeit in der Entwicklung.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0608</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD (Geochemische Barriere)			
<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> vom 01.07.1998 bis 30.06.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.730.884,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Brassler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Nach Stilllegung einer UTD sind Maßnahmen durchzuführen, die den sicheren Abschluss der Abfälle vom Biozyklus gewährleisten. Aufbauend auf den Erfahrungen bislang durchgeführter Untersuchungen zu Wechselwirkungen und zum Mobilisierungsverhalten von Schwermetallen wird zunächst die langfristige Entwicklung des chemischen Milieus in der Nachbetriebsphase einer UTD unter anaeroben Bedingungen experimentell ermittelt. Darüber hinaus werden geeignete und technisch handhabbare Maßnahmen bestimmt, welche die Löslichkeits- und Mobilitätsbeeinflussenden Parameter (wie z. B. Eh- und pH-Wert) entstehender Lösungen in bestimmten Bandbreiten fixieren und so zur Erhöhung der Barrierewirksamkeit im Nahfeld einer UTD beitragen. Dadurch wird einerseits eine wesentlich belastbarere Beurteilung des von abgelagerten Abfällen ausgehenden Gefährdungspotentials ermöglicht und andererseits die Voraussetzung geschaffen, durch geeignete technische Maßnahmen schon bei der Ablagerung der Abfälle selbst die Langzeitsicherheit des gesamten UTD-Konzeptes erheblich zu verbessern.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist in folgenden Arbeitsschritten konzipiert:

1. Bestandsaufnahme und Zusammenstellung wissenschaftlicher Ergebnisse zum SM-Verhalten in natürlichen anaeroben Systemen
2. Auswahl und Beschaffung von Abfallproben, Grundwässern, Laugen und deren Analytik
3. Experimentalprogramm mit unterschiedlichen Löseversuchen (Kaskadenversuche, Langzeitumlaufsäulenversuche unter Inertgas, Zugabe von Na<sub>2</sub>S und dazugehöriger Analytik
4. Auswertung in Hinblick auf pH- / Eh- Einfluss auf das SM-Mobilisierungsverhalten, Ableitung von Stabilitätsdiagrammen, Beständigkeit von Mineralphasen, Laugenentwicklung und SM-Spezies

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Die Untersuchung von Wechselwirkungssystemen (Filterstäube aus der Abfallverbrennung mit Grundwässern bzw. Salzlaugen) unter anaeroben ( $< 100$  ppm  $O_2$  in der Gasphase der Glovebox) und aeroben Bedingungen in Form von Umlaufsäulen- sowie Kaskadenversuchen ist entsprechend der Planung weitergeführt worden. Die Identifizierung der festen Phasen ist erfolgt, die Analysen der Eluate sowie der Gasphasen liegen weitgehend vor.

### **4. Ergebnisse**

Je nach Art der Versuchsdurchführung (aerob bzw. anaerob) werden Unterschiede in den gemessenen Redoxpotentialen sowie im Lösungsverhalten u. a. der Schwermetalle eines Wechselwirkungssystems festgestellt. Die Elementkonzentrationen in den Eluaten müssen für jedes System separat dargestellt, diskutiert sowie ggf. durch begleitende Modellrechnungen verifiziert werden. Ein bemerkenswertes Ergebnis stellt u. a. der Kaskadenversuch mit Abfall CA302 und Lösung IP9 dar (s. Abbildung). Die Redoxpotentiale, die Konzentrationen der Hauptelemente sowie der Schwermetalle Zink, Cadmium, Blei und Kupfer liegen sowohl in den aerob als auch in den anaerob hergestellten Eluaten in gleicher Größenordnung, bei Mangan, Chrom und Quecksilber sind demgegenüber signifikante Unterschiede zu verzeichnen. Spätestens nach der 7. Kaskade liegen die Konzentrationen dieser Elemente aber im Kaskadenversuch CA302/IP9/aerob unterhalb der Nachweisgrenzen.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Die Auswertung aller Versuchsergebnisse erfolgt hinsichtlich des pH- und Eh-Einflusses auf das Mobilisierungsverhalten der Schwermetalle. Die Beständigkeit bzw. Löslichkeit von Mineralphasen (mit begleitenden geochemischen Modellrechnungen) wird dargestellt und bewertet. Neben der Modellierung der Laugenentwicklung werden Schwermetallspezies identifiziert. Die Gesamtzusammenfassung sämtlicher Resultate erfolgt im Abschlussbericht.

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

keine

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0618</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Erstellung einer Datenbank zur Bestandsaufnahme und Bewertung geochemischer Informationen zum Verhalten von Abfallinhaltsstoffen im Deckgebirge einer UTD/UTV (Sorptionsdatenbank Chemieabfälle)			
<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> vom 01.09.1998 bis 31.08.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 913.973,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Brasser	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für den Langzeitsicherheitsnachweis einer UTD/UTV ist die Bewertung einer möglichen Schadstoffausbreitung von Bedeutung. Im Gegensatz zur Endlagerung radioaktiver Abfälle ist das Migrationsverhalten von Schadstoffen aus chemisch-toxischen Abfällen im Deckgebirge noch nicht zusammenhängend untersucht. Es ist deshalb Ziel des Vorhabens, bereits verfügbare Ergebnisse relevanter geochemischer Experimente zusammenzustellen, zu bewerten und in einer Datenbank verfügbar zu machen. Damit wird ein Instrumentarium erarbeitet, welches Basisdaten für sicherheitsanalytische Modellrechnungen bereitstellt, die die Barriere „Deckgebirge“ in die Bewertung untertägiger Abfallentsorgungskonzepte einbezieht und letztendlich eine TA Abfall konforme Durchführung eines Langzeitsicherheitsnachweises für UTD/UTV durch sicherheitsanalytische Methoden und Modelle erst ermöglicht.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist in folgenden Arbeitsschritten konzipiert:

1. Literaturrecherche zum Verhalten von Abfallinhaltsstoffen im Deckgebirge einer UTD/UTV (Schwerpunkt: As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn)
2. Literatursauswertung unter Berücksichtigung relevanter Schadstoffe
3. Erarbeitung einer geeigneten Datenbankstruktur mit entsprechendem Auswerteeinstrumentarium auf der Grundlage des Datenbankprogramms ACCESS
4. Konzeptüberprüfung, Erarbeitung eines Manuals und Veröffentlichung
5. Weiterführung und Abschluss der ARBUS Bergwerk- und UTD-Standortdatenbank

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- Recherche, Sammlung und Auswertung weiterer Sorptionsdaten aus Publikationen, Projektberichten, Diplomarbeiten und Dissertationen
- Erweiterung der Literaturrecherche und -auswertung durch Internet-Suchläufe
- Erfassung von Literaturangaben in einer Teildatenbank mit projektbezogener Klassifikation und Bewertung der entsprechenden Quelle
- Überarbeitung und Erweiterung der Sorptionsdatenbank-Struktur zur Anpassung an die Heterogenität der recherchierbaren Datensätze
- Einscannen wesentlicher, in der Literatur vorliegender graphischer Darstellungen zu Sorptionsversuchen und Ablage in der Datenbank als Graphikdateien im tif-, bmp- oder gif-Format
- 

### 4. Ergebnisse

- Bereitstellung einer überarbeiteten und besonders im Bereich der Dateneingabe erweiterten Version der Sorptionsdatenbank, die eine einheitliche und übersichtliche Eingabe und Verwaltung unterschiedlichster, z. T. pH-, temperatur-, salinitäts-, redox-abhängiger Sorptionsversuche ermöglicht
- Bisher wurden ca. 600 Graphiken mit Sorptionsergebnissen eingescannt, deren Daten nicht in tabellarischer Form vorliegen.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Recherche, Erfassung und Auswertung weiterer Sorptionsdaten
- Änderungen oder Erweiterungen der Eingabeparameter (bei Bedarf) sowie Festlegung der Abfrageparameter
- Programmergänzung zur Generierung von Sorptions-Isothermen anhand der in der Datenbank vorliegenden Datensätze mit vollständigen Basisdaten. Damit soll eine Auswahl verschiedener linearer und nichtlinearer Beschreibungen der Versuchsergebnisse zur Verfügung stehen, die es ermöglichen, Sorptionsparameter zu ermitteln bzw. bereits vorliegende Parameter besser zu bewerten

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Brasser, Th., Mönig, J., Kemski, J. & Veerhoff, M.: Development of a Sorption Database for Transport Calculation of Heavy Metals in the Deep Geosphere.- Eurosafe 2000, 6. - 7.11. 2000, Köln

Brasser, Th. & Herbert, H.-J.: Assessment of long-term behaviour of anorganic contaminants at underground disposal sites and its applicability on related environmental problems.- 3<sup>rd</sup> International Conference of Balkan Environmental Association on "Transboundary Pollution", November 23 - 26, 2000, Bucharest

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 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> vom 01.01.1999 bis 31.12.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.482.030,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Frau A. 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

AS2/AS4: Diverse Rechnungen wurden durchgeführt, ohne jedoch hinsichtlich Konvergenz und Genauigkeit zu zufriedenstellenden Resultaten zu kommen, da mit dem Gittergenerator von  $d^3f$  keine Rechengitter in ausreichender numerischer Qualität erzeugt werden konnten.

AS1: Weiteres Datenmaterial zum ehemaligen Salzbergwerk "Mariagluck" bei Celle wurde vom NLFB eingeholt. Mit der Modellerstellung wurde begonnen.

AS3: Datenmaterial von den Amsterdamer Wasserwerken liegt vor.

Der Präprozessor wurde im Rahmen eines Unterauftrages von einem Mitarbeiter der Universität Hannover überarbeitet.

### 4. Ergebnisse

AS2/AS4: Eine wesentliche Verbesserung der Rechenergebnisse und eine Parallelisierung waren wegen der schlechten Gittereigenschaften nicht möglich.

AS1: Datenmaterial liegt vor, mit der Modellerstellung wurde begonnen.

AS3: Datenmaterial liegt vor

Die Überarbeitung der Präprozessoren ist abgeschlossen.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Im Rahmen eines Unterauftrages wird ein neuer 3D-Gittergenerator für  $d^3f$  entwickelt. Zunächst mit Hilfe eines provisorischen Gittergenerators für 2 1/2D-Probleme, später mit dem neuen Werkzeug, werden zunächst die beiden existierende Modelle neu vernetzt und gerechnet.

Mit Hilfe des überarbeiteten Präprozessors werden die Modelle zu AS1 und AS2 erstellt und dann ebenfalls gerechnet.

### 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 0639</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden 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> vom 01.01.2000 bis 31.12.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.047.821,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. Minkley	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Wirksamkeit geologischer Salzbarrieren basiert im wesentlichen auf ihrer Fähigkeit zur bruchlosen, duktilen unter statischen Beanspruchungen im Gebirge. Unter gebirgsdynamischen Einwirkungen anthropogenen oder geogenen Ursprungs (Gebirgsschlägen, Erdbeben) besteht ein signifikant höheres Sicherheitsrisiko hinsichtlich einer Verletzung der Integrität und Dichtheit salinärer Barrieren. Zielstellung des Projektes ist die Schaffung der experimentellen und theoretischen Basis für eine Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salzgebirge, die als UTD bzw. UTV genutzt werden sowie die Ableitung dynamisch zulässiger Beanspruchungsgrenzwerte für die anschließenden salinaren Barrieren. Das Vorhaben umfasst die Untersuchung der Entfestigung carnallitischer Tragelemente, die Messung geomechanischer Größen zur Prognose des Systemverhaltens, die Entwicklung eines umfassenden Stoffgesetzes für Salzgesteine unter Einbeziehung von Kriechen, Entfestigung und Dilatanz sowie die Verifizierung und Validierung der entwickelten Modelle und Modellvorstellungen an eingetretenen Schadens- und Versagensfällen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Sondierung der Entfestigung carnallitischer Tragelemente.
- AP 2: Entwicklung von Berechnungsmodellen zur Fallunterscheidung langfristig stabil/instabil.
- AP 3: Entwicklung von Modellvorstellungen über Vorläufererscheinungen bei Systeminstabilität.
- AP 4: Messung geomechanischer Größen zur Prognose des Systemverhaltens.
- AP 5: Entwicklung eines umfassenden Stoffgesetzes für Salzgesteine.
- AP 6: Ableitung dynamischer Beanspruchungsgrenzwerte für Salinarbarrieren.
- AP 7: Verifizierung und Validierung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

- AP 1: Quantitative Auswertung von Bohrlochausbrüchen und Ermittlung des Vertikalspannungsaufbaues in einem Carnallitpfeiler.
- AP 2: Entwicklung eines Berechnungsmodells in dem Systeminstabilität durch Kriechbruchvorgänge ausgelöst werden kann.
- AP 3: Analyse vorhandener Erkenntnisse über Vorläufererscheinungen bei Systeminstabilität.
- AP 4: Einbau der Standrohre und Vorbereitung der Tiltmeter für die über- und untertägige Aufstellung.
- AP 5: Verifizierung des in C<sup>++</sup> programmierten visko-elastoplastischen Entfestigungsmodells in den Programmen FLAC, FLAC 3D, UDEC, 3DEC.

### 4. Ergebnisse

- AP 1: Die entwickelte Methode zur Vermessung von Bohrlochwandausbrüchen im Carnallit erscheint geeignet zur Ermittlung des Belastungszustandes von Carnallitpfeilern.
- AP 2: Pfeilerkriechbrüche im Carnallit sind ein real möglicher Auslösemechanismus für Systeminstabilität in der Nachbetriebsphase.
- AP 3: Bei einigen Senkungsmessungen kann auf eine Beschleunigung des Entfestigungs- und Senkungsvorganges vor Systeminstabilität geschlossen werden.
- AP 5: Lauffähiges Stoffmodell, das als model.dll (dynamic linked librerie) in die Programme FLAC, FLAC 3D, UDEC, 3DEC geladen werden kann.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- AP 1: Fortführung der Sondierungen zum Entfestigungszustand carnallitischer Tragelemente in situ. Beginn der Fracmessungen in Pfeilern.
- AP 2: Parameter- und Sensitivitätsstudien zur Auslösung von Systeminstabilität durch Pfeilerkriechbrüche.
- AP 3: Durchführung numerischer Berechnungen und Analysen zur Quantifizierung der Änderung mechanischer Größen bei Annäherung an Grenzzustände.
- AP 4: Installation von zwei Tiltmetern untertage und einem Tiltmeter übertage und Beginn der Neigungsmessungen.
- AP 5: Verifizierung des Stoffmodells durch Nachrechnung von Laborversuchen.
- AP 6: Durchführung von Triaxialversuchen an Salinargesteinen zur Ableitung dynamischer Beanspruchungsgrenzwerte für geologische Barrieren.

### 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> vom 01.01.2000 bis 31.12.2002		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 408.538,00 DM		<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**

Im Berichtszeitraum erfolgte die planmäßige Ablesung und Wartung der Verformungsmessstellen an allen Messkomplexen.

Durchführung der Nullmessung und von zwei weiteren Messzyklen an den 10 Extensometern zur Erfassung des Verformungsverhaltens am Messkomplex 2, die wegen des Ablaufs des Messbereiches der alten Extensometer neu installiert wurden.

### **4. Ergebnisse**

Mit den durchgeführten In-situ-Arbeiten wurden umfangreiche Messreihen für eine breite Palette von Spannungs-Verformungszuständen bereitgestellt, die für eine UTD/UTV in Salzformationen der flachen Lagerung charakteristisch sind.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Fortsetzung der In-situ-Messungen bis zum Erreichen der stationären Kriechphase an allen Messkomplexen für eine abschließende Modellvalidierung. Durchführung der geplanten Spannungssondierungen, sowie der Ablesung und Wartung der Verformungsmessstellen an allen Messkomplexen.

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

keine

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0659</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Langzeitstabilität von Tondichtungen in Salzformationen			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.07.1999 bis 31.12.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.699.334,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Herbert	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Eignung von Bentoniten als Dicht- und Verschlussmaterial in Untertagedeponien (UTD) und Endlagern in Salzformationen ist abhängig von der Langzeitstabilität der quellfähigen (Smektit- bzw. Montmorillonit-) Anteile. Für die Beurteilung der Langzeitstabilität im salinaren Milieu werden Tone unterschiedlichen geologischen Alters aus salinärer Umgebung untersucht. Es sollen Mechanismen und Faktoren identifiziert werden, die für die Umwandlung von Smektiten unter UTD-Bedingungen von Bedeutung sind. Weiterhin werden durch gezielte experimentelle Untersuchungen unter den besonderen Bedingungen einer UTD bzw. eines Endlagers Daten ermittelt, die Aussagen über Art, Mechanismus und Kinetik des Umwandlungsprozesses ermöglichen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### (AP1) Vorlaufende Arbeiten

- Systematische Literaturrecherche zum Thema Umwandlung von Smektiten.
- Aufbau einer Literaturlistenbank zu diesem Thema
- Literaturlistenbewertung im Hinblick auf die Faktoren, welche die Umwandlung von Smektiten begünstigen und inwiefern diese UTD- bzw. endlagerrelevant sind

### (AP2) Untersuchung natürlicher Analoga, d. h. von Tonen aus salinärer Umgebung

- Probenbeschaffung: Beschafft werden Proben aus sedimentären Becken, die unterschiedlich lange in Salzlösungen bekannter Zusammensetzung dem Umwandlungsprozess ausgesetzt waren. Weiterhin werden Salztone aus Zechsteinsalzformationen untersucht.
- Probenuntersuchung: Alle Proben werden mittels TEM, XRD, AFM, XRD, ICP etc. charakterisiert. Untersucht werden Parameter wie: chemische und mineralogische Zusammensetzung der Tonminerale, insbesondere auch einzelner Aggregate, die auftretenden Wechsellagerungsstrukturen, die kristallographischen Modifikationen, Stapelfrequenzen, Morphologiefaktoren etc.

### (AP3) Experimentelle Arbeiten

Die Umwandlung von Montmorillonit wird unter UTD- und endlagerrelevanten Randbedingungen experimentell untersucht. In den Experimenten werden die Reaktionen von Montmorillonit mit zwei charakteristischen Salzlösungen, bei einem relevanten Feststoff-Lösungsverhältnis, bei drei Temperaturen, 25, 90 und 150 °C, mit und ohne Eisen sowie mit und ohne Zementzusatz beobachtet. Über einen Zeitraum von 600 Tagen werden periodisch Proben gezogen und mit den gleichen Methoden charakterisiert, die auch bei der Untersuchung der natürlichen Analoga eingesetzt werden.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Die Sichtung der Literatur über die Umwandlungskinetik von Smektit in Illit wurde weitergeführt und in die vorhandene themenbezogene Datenbank eingefügt. Mit der Zusammenstellung der Ergebnisse der Literaturrecherche wurde begonnen. Die experimentellen Langzeitversuche an MX80-Lauge-Suspensionen wurden fortgeführt. Die bei 25-, 90- und 150°C getemperten Probenreihen wurden nach 52, 122 und 214 Tagen beprobt und analysiert. An der 2- $\mu$ m-Fraktion wurden Phasenuntersuchungen (TEM, AFM, XRD) durchgeführt. Die Lösungen wurden hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung (ICP) untersucht. An ausgewählten Proben wurden das Quell- und Wasseraufnahmevermögen ermittelt.

### 4. Ergebnisse

Die ausgewerteten Publikationen über Ergebnisse von Laborversuchen lassen z. T. verschiedene Interpretationen bzgl. der Bewertung der Langzeitstabilität von Smektit zu, was einerseits auf die unterschiedlichen Versuchsrandbedingungen und andererseits auf die Wechselwirkungen innerhalb der komplex zusammengesetzten Ton-Fluid-Suspensionen zurückgeführt wird. Insgesamt liegen nur wenige Publikationen vor, die das Thema von Reaktionen von Tonen in hochsalinaren Lösungen behandeln. Die durchgeführte TEM-, AFM-, XRD-Analysen belegen die Bildung von Wechsellagerungsstrukturen (Illit/Montmorillonit) zu Ungunsten der Montmorillonitmatrix und weisen auf die fortgesetzte isomorphe Substitution von Kationen in der Oktaederschicht sowie auf Kationenaustauschvorgänge in den Zwischenschichten hin. Die Neubildung von Si-Phasen deutet auf fortschreitende Veränderungen in den Tetraederschichten hin. Eine deutliche Abhängigkeit der Reaktionsprodukte von der Umgebungstemperatur konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Aufgrund der Analyse (ICP) der im Fluid gelösten Kationen ist keine zeitlich wachsende Smektitumwandlung abzuleiten – die Lösungszusammensetzungen zeigen aber signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von den beigemengten Additiven (Zement, FeCl<sub>3</sub>). Hinsichtlich der technischen Eigenschaften ist das Quell- bzw. Wasseraufnahmevermögen der getemperten, mit IP21 bzw. NaCl-Lösung behandelten, 2- $\mu$ m-Tonfraktion gegenüber des ursprünglichen MX-80-Materials verringert.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

- (AP1): Die Auswertung der Literaturrecherche über die Langzeitstabilität von Tonen wird abgeschlossen. Die vorhandene Datenbank wird erweitert.
- (AP2): Die Ergebnisse der Untersuchung von natürlichen Tonen wird berichtsmäßig abgeschlossen.
- (AP3): Die experimentellen Laborversuche mit zwei relevanten Salzlösungen und Temperaturen von 25-, 90- und 150°C werden mit der phasenanalytischen Untersuchung der Feststoffphase und der chemischen Zusammensetzung der Fluide fortgeführt – ebenso die Ermittlung des Quell- und das Wasseraufnahmevermögens der getemperten Proben.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Kasbohm, J. Venz, C. Henning, K.-H., Herbert, H.-J. (2000): Zu Aspekten einer Langzeitstabilität von Bentonit in hochsalinaren Lösungen. Tagungsband der DTTG-Jahrestagung 30.8. - 1.9.2000, Zürich, Schweiz.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 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> vom 01.10.1999 bis 31.12.2002		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.792.143,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Mieke	

## 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

Im Berichtszeitraum wurden die im 1. Halbjahr 2000 vorgenommenen Versuche zur Ermittlung der Zweiphasenflussparameter von sechs mit Wasser gesättigten Proben des Sand-Ton-Mischungsverhältnisses 90/10 ausgewertet. An sechs Sand-Ton-Proben des Mischungsverhältnisses 75/25 wurden Messungen zur Bestimmung der einphasigen Gas- und Wasserpermeabilitäten sowie der Zweiphasenflusseigenschaften vorgenommen. Diese Versuche befinden sich im Abschluss und in der Auswertung. Zur Vorbereitung der Messungen mit Q-Lauge an Stelle von Wasser wurden weitere Sand-Ton-Proben hergestellt.

### 4. Ergebnisse

Die Untersuchungen an den Proben mit einem Sand-Ton-Verhältnis von 90/10 ergaben aus der Korn- und der Gesamtdichte berechnete Porositäten von 20,5 bis 21,2 %. Die aus der Wasseraufnahme bei der Sättigung der Proben resultierenden effektiven Porositäten fielen höher aus und beliefen sich auf 25,6 bis 29,1 %. Die mit Gas ermittelten Einphasenpermeabilitäten lieferten Werte bis zu  $3 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$  und die mit Wasser gemessenen Permeabilitäten ergaben sich zu  $8,8 \cdot 10^{-16}$  bis  $3,3 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ . Bei der Bestimmung der Zweiphasenflusseigenschaften wurde ein Gasdurchbruch bei 0,03 MPa festgestellt.

Bei den Sand-Ton-Proben mit dem Mischungsverhältnis 75/25 lagen die aus der Korndichte und den Gesamtdichten der Proben berechneten Porositäten mit 19,2 bis 20,9 % etwas niedriger als bei den Proben mit dem geringeren Tonanteil. Die aus der Wasseraufnahme ermittelten effektiven Porositäten ergaben sich zu 25,7 % bis 28 %. Die einphasigen Gaspermeabilitäten bewegten sich mit  $1,3 \cdot 10^{-13}$  bis  $2,1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$  in der gleichen Größenordnung wie die Proben des Sand-Ton-Mischungsverhältnisses 90/10. Im Vergleich hierzu ergaben sich die mit Wasser ermittelten Permeabilitäten um  $10^{-18} \text{ m}^2$  und sind somit deutlich niedriger als die der Proben mit dem Sand-Ton-Mischungsverhältnis 90/10.

Wegen des flachen Verlaufs der Kapillardruck-Sättigungs-Funktion mussten im Bereich  $0,3 < S_w < 0,7$  eine feinere Abstufung des Injektionsdrucks vorgenommen werden, als ursprünglich vorgesehen, um diesen Bereich hinreichend mit Messdaten abzudecken. Außerdem erwies sich die Dauer bis zum Erreichen stationärer Fließbedingungen speziell bei den Proben mit dem Sand-Ton-Mischungsverhältnis 75/25 länger als bei früheren Messungen, womit eine Überschreitung des Zeitplans verbunden ist.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Bestimmung der Einphasenpermeabilitäten für Gas und Q-Lauge sowie der Zweiphasenflussparameter (relative Gaspermeabilität, Kapillardruckverlauf) an Proben des Mischungsverhältnisses Sand/Ton von 90/10, 75/25 und 50/50 mit Q-Lauge.

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

keine

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0679</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Erstellung und Nutzung einer Datenbank zur Bestandsaufnahme und Bewertung methodenabhängiger Informationen zum Mobilisationsverhalten und zum Schadstoffpotential von organisch und anorganisch belasteten Feststoffen			
<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> vom 01.10.1999 bis 30.09.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 935.111,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Mönig	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die in der nationalen und internationalen Literatur veröffentlichten und bei den am Vorhaben beteiligten Institutionen vorliegenden Ergebnisse und Daten physikochemischer Experimente (mit Relevanz für die Schadstoffmobilisation und damit den Stofftransport auf dem Wasserpfad in der Geo- und Biosphäre) sollen im Hinblick auf deren Verwendbarkeit (z. B. Elemente, Versuchs-Randbedingungen, Gesteinsmatrix) im Rahmen eines Langzeitsicherheitsnachweises für untertägige Abfallentsorgungsmaßnahmen bewertet und in einer sog. Mobilitätsdatenbank (AMANDA) zusammengestellt werden. Grundlage für diese Datenbank bildet dabei die bereits in der Praxis erprobte AbfallanalySENDATENBANK (ABANDA) des Nordrhein-Westfälischen Landesumweltamtes (LUA NRW). Da der Schwerpunkt der Studie in einer breiten Erfassung von mit unterschiedlichen Untersuchungsverfahren und an einem weiten Spektrum von Abfällen ermittelten Elutionsdaten besteht, werden nicht ausschließlich Untersuchungen zum Verhalten von Schwermetallen berücksichtigt, sondern im Rahmen der Verfügbarkeit auch Verfahren und Daten zum Verhalten organischer Verunreinigungen und von Haldenmaterialien aufgenommen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist in folgenden Arbeitsschritten konzipiert:

1. Datenrecherchen zur Aktualisierung der bereits vorhandenen Zusammenstellung international verwendeter Untersuchungsverfahren zur Schadstoffmobilität sowie vorliegender Untersuchungsergebnisse
2. Entwicklung und Einrichtung einer für das Vorhaben geeigneten Datenbankversion auf der Basis der AbfallanalySENDATENBANK ABANDA
3. Sammlung und Eingabe von Daten aus Elutions-, Säulen-, Lysimeter- und Kaskadenversuchen, die von den Projektpartnern durchgeführt wurden, bzw. in der Literatur zugänglich sind, mit Überprüfung auf Vollständigkeit und Widerspruchsfreiheit der Daten
4. Datenauswertung mit AMANDA sowie Bereitstellung von Schnittstellen zur externen fortgeschrittenen statistischen Analyse der Daten

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Die Datenrecherche zu vorliegenden Ergebnissen von Untersuchungen zur Schadstoffmobilität wurde fortgesetzt.
- Die dv-technische Anpassung der Abfallanalysendatenbank zur Aufnahme von Mobilitätsdaten wurde durchgeführt. Die Datenbank AMANDA wurde bei allen Projektpartnern installiert.
- Die Eingabe der Mobilitätsdaten wurde begonnen. Die dabei gemachten Erfahrungen führten zu kleineren Modifizierungen in der Struktur und der Parameterliste der Datenbank.

### **4. Ergebnisse**

keine

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Fortführung der Recherche, Erfassung und Validierung von Daten zum Mobilisationsverhalten von Schadstoffen
- Beginn der Datenauswertung mit der Datenbank AMANDA. Dazu Programmierung einer Bildschirmmaske zur freien Datenauswahl mit einstellbaren Auswahlkriterien.
- Programmierung einer Schnittstelle für die Datenausgabe zur weiteren statistischen Datenbearbeitung mit Ermittlung von „berechneten Werten“.

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

keine

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

keine

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0689</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.10.1999 bis 30.09.2002		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.060.278,00 DM		<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**

Im Berichtszeitraum wurden drei Methoden zur Bestimmung der Gasentwicklung abgeschlossen. Mit ihnen lassen sich die Gasentwicklungen unter UTD-nahen Bedingungen, die maximale Gasfreisetzung sowie die langfristige Gasentwicklung beim Kontakt von Tiefenwässern mit chemisch-toxischen Abfällen untersuchen.

Es wurde mit Reihenmessungen an einer breiten Auswahl an kürzlich beschafften chemisch-toxischen Abfallproben begonnen, die jeweils drei verschiedenen Tiefenwässern (zwei hoch- und einer schwach salinaren) ausgesetzt werden. Es erfolgen kontinuierliche Druckmessungen sowie eine quantitative Analyse der entwickelten Gase. Darüber hinaus werden die Reaktionslösungen chemisch analysiert.

### **4. Ergebnisse**

Bisher wurde die Gasentwicklung bei Filterstäuben, Müllverbrennungsschlacken, Batterien und Flugaschen näher untersucht. Hier wurden Wasserstofffreisetzungen von bis zu  $10 \text{ Nm}^3 \text{ je t}$  festgestellt. Die Gasfreisetzung ist dabei bei Reaktion mit IP21 häufig am höchsten, bei Reaktion mit Steinkohlengrubenwasser am niedrigsten. Die Reaktionen sind nach 28 Tagen meist weitgehend abgeschlossen. Nur bei einigen Abfällen mit hohem Gasentwicklungspotential wird darüber hinaus noch Gas freigesetzt. Genauere Auswertungen werden mit Eintreffen der Versuchsergebnisse des nächsten halben Jahres möglich sein.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Fortführung der chemischen und röntgenographischen Analysen von Abfallproben. Fortführung von Serienmessungen an beschafften Abfallproben. An einzelnen Abfall/Lösungspaaren gezielte experimentelle Variation von Versuchsparametern (Temperatur, Feststoff-/Lösungsverhältnis, Körnung), um deren Einfluss auf die Gasbildungsmenge und -rate zu ermitteln. Versuche zur Abschätzung der mikrobiologischen Aktivität.

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> K-UTEC, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0699</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Entwicklung, Anwendung und Eignung von mineralischen Gelen und Bindemittelsystemen auf Sorelbasis zur Einbettung und Sorption schadstoffhaltiger Abfallstoffe und zur Verbesserung der Barrierewirkung von Versatz		
<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> vom 01.10.1999 bis 30.09.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.101.590,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. König	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gegenstand des Vorhabens sind Untersuchungen zur Herstellung und von Anwendungseigenschaften spezieller mineralischer Gele für die Einbettung chemisch-toxischer und/oder durch Schwermetalle belasteter Stoffe in Verbindung mit deren Endlagerung in Salzformationen. Ziel der Untersuchungen ist es, einen rein mineralischen, unter Sole oder an Luft erhärtenden aber dauerplastischen Stoff zu schaffen, in dem Schadstoffe eingebettet werden können und der inert zu den umgebenden Salzgesteinen, den eingebetteten Stoffen und im Schadensfall zutretenden Salzlösungen ist.

Ziel der Entwicklung sind pumpbare und nach dem Einbringen erhärtende Stoffe auf Gelbasis, welche eine hohe Resistenz und Stabilität haben, das Restvolumen von Einlagerungskammern selbstnivellierend ausfüllen und aufgrund ihrer chemischen Natur die minimale Elution für Schwermetalle und ggf. Nuklide gewährleisten.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Labor- und Technikumsuntersuchungen zur Herstellbarkeit von mineralischen Gelen und deren physikalische Parameter vor, während und nach dem Aushärtevorgang

Arbeitspaket 2: Labor- und Technikumsuntersuchungen zum Verhalten ausgewählter Stoffsysteme gegenüber verschiedenen Einflussfaktoren (Einlagerung in NaCl-Sole mit verschiedenen pH-Werten, Einlagerung in Q-Lauge, Verhalten in trockener Luft, Verhalten bei erhöhten Temperaturen, Verhalten gegenüber Wirtsgesteinen, Bestimmung mechanischer Parameter

Arbeitspaket 3: Labor- und Technikumsuntersuchungen zum Elutionsverhalten von im Gel eingebetteten Stoffen, insbesondere Schwermetallen

Arbeitspaket 4: Technikumsuntersuchungen zur Verstärkung der Barrierewirkung von eingebrachtem Versatz durch mineralische Gele

Arbeitspaket 5: Beobachtungen eines komplexen Systems aus natürlichen Salzgesteinen, Gelkörpern mit eingebetteten Stoffen und Fluiden unter den Bedingungen der freien Konvektion bzw. Durchströmung im Modellversuch

### 3. Durchgeführte Arbeiten

#### Arbeitspaket 1:

Herstellung weiterer verschiedener Arten mineralischer Gele im Labormaßstab auf der Grundlage von KCl-NaCl-MgCl<sub>2</sub>-MgSO<sub>4</sub>-Lösung als Lösungsphase, MgO/Mg(OH)<sub>2</sub>-CaO/Ca(OH)<sub>2</sub> als mineralisches Bindemittel und Dolomitmehl, Kalksteinmehl, Anhydritsteinmehl usw. als Füllstoffe.

Es wurden zusätzliche Untersuchungen zu den Kenndaten wie Scherfestigkeit, einaxiale Druckfestigkeit und  $k_F$ -Wert durchgeführt. Die Untersuchungen wurden abgeschlossen.

#### Arbeitspaket 2:

Die Langzeituntersuchungen an den 16 Prüfkörpern aus Gel und Zuschlagstoffen verschiedener Rezepturen wurden fortgesetzt und beendet. Dabei erfolgte eine quantitative und qualitative Bewertung der Probekörper gemäß vorgegebenem Versuchsprogramm. Des Weiteren wurden wichtige Kennwerte der verschiedenen Prüfkörper gewonnen, die Rückschlüsse auf eine mögliche Anwendung bezüglich der Barrierewirkung von Versatz zulassen.

#### Arbeitspaket 3:

Für die Aussage zur Ausbreitung der Schwermetallsulfate in den verschiedenen Gelen laufen zur Zeit die analytischen Untersuchungen im Labor der KUTEK (30 x 10 Untersuchungen).

Die Säulen für Perkolationsversuche von Schwermetalllösungen durch verschiedene Gele sind realisiert und werden im ca. 2 wöchentlichem Rhythmus beprobt und begutachtet. Dabei wurde die durchdrungene Lösung analysiert und durch neue Ausgangslösung quantitativ ersetzt.

#### Arbeitspaket 4:

Zur Ermittlung und Untersuchung der physikalischen Parameter wie  $k_F$ -Wert, Porosität, Wassergehalt, Einbaudichte und Haftkraftbindung (Gelkörper - Wirtsgestein) wurden 32 Probekörper aus den Komponenten Gel + Zuschlagstoff + Salzgrus hergestellt und untersucht. Auch hier wurden wichtige Kennwerte der verschiedenen Prüfkörper gewonnen, die Rückschlüsse auf die angedachte mögliche Anwendung bezüglich der Barrierewirkung von Versatz zulassen. Der praktische Versuchsteil ist abgeschlossen.

#### Arbeitspaket 5:

Langzeitstandversuche zur Beobachtung des komplexen Systems aus natürlichem Salzgestein und Gelkörper wurden erstellt. Dabei wurden 6 Versuchswannen angesetzt.

Zur Realisierung der Untersuchungen der Fluideinwirkung auf Gelsysteme mit eingebetteten Schadstoffen (Cu, Ni, Fe, Zn, Cr als Sulfate) wurden 4 Säulen angesetzt. Alle Versuche wurden und werden regelmäßig beprobt.

### 4. Ergebnisse

AP 1: Es wurden die Arbeitsbereiche abgesteckt und es konnte gezeigt werden, dass durch Verwenden unterschiedlicher Rezepturen die physikochemischen Eigenschaften variiert werden. Außerdem wurde eine Rezepturauswahl für die weiteren Arbeitspakete getroffen.

AP 2: Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass es sich bei den verwendeten Gel-Rezepturen um plastisch stabile, auch unter verschiedener Fluid- und Temperatureinwirkung beständige Stoffsysteme handelt. Die ermittelten  $k_F$  Werte (ca.  $10^{-8}$  m/s) lassen den Schluss zu, dass die Gele eine praktisch anwendbare Barrierewirkung besitzen.

AP 3: Es zeigen sich bereits erste Spuren von Schwermetallen im Eluat der Säulen. Weitere Ergebnisse sind nach Versuchsabschluss zu erwarten.

AP 4: Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass es sich auch bei den verwendeten Gel-Rezepturen mit Salzgrus plastisch stabile Stoffsysteme darstellen. Die ermittelten  $k_F$  Werte bestätigen die Barrierewirkung.

AP 5: Ergebnisse liegen erst mit weiteren Versuchsfortschritt vor.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

Weiterarbeiten wie im Arbeitsplan angegeben.

### 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> vom 01.10.1999 bis 30.09.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 750.000,00 DM	<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 für toxische Schwermetalle 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

- Speziationsrechnungen für Hydroxo-/Carbonatkomplexierung des Pb, Cu, Cd, Zn und Ni
- Stabilitätsuntersuchungen von <sup>131</sup>I-markierter Huminsäure
- Bestimmung der Sorptionskoeffizienten für toxische Schwermetalle (Pb, Cu)
- Bestimmung der Komplexstabilitätskonstanten von Schwermetallhumaten
- Indirekte Speziation im ternären System Schwermetall (Pb, Cu) / Seesand / Huminsäure.

#### 4. Ergebnisse

Die Vorschrift für die Markierung von Huminsäure mit  $^{131}\text{I}$  wurde weiterentwickelt, so dass nicht kovalent gebundenes  $^{131}\text{I}$  eliminiert werden konnte. Es ergeben sich radiochemische Ausbeuten von 22 %. Das zeitliche Verhalten zwischen kovalent und nicht kovalent gebundenem Iod wurde mittels HCl-Fällung und Ultrafiltration untersucht. Das Verhältnis  $^{131}\text{I}_{\text{kovalent}} / ^{131}\text{I}_{\text{nicht kovalent}}$  bleibt über 10 Tage bei 96 / 4 (Ultrafiltration) und 93 / 7 (Fällung) konstant. Anhand von Speziationsrechnungen mit Literaturdaten wurden die pH-Bereiche ermittelt, bei denen ausschließlich die Aquoionen vorliegen: Cu, Pb (< 6), Zn (< 7) und Ni, Cd (< 8). Unter atmosphärischen Bedingungen (0,0316 %  $\text{CO}_2$ ) dominieren ausschließlich die Carbonatkomplexe (z. B. Cu > pH 6). Im mittleren pH-Bereich (6 – 10) dominieren bei sehr hohen Metallionenkonzentrationen ( $> 10^{-5}$  mol/l) Dimere und Polymere der Hydrolyseprodukte. Die Sorptionsstudien wurden mit Blei(II), Kupfer(II) und Zink(II) in Abhängigkeit vom pH-Wert in Abwesenheit von Huminsäure an Seesand im Batchexperiment fortgeführt. Die maximalen adsorbierbaren Konzentrationen betragen: 1,79 (pH 6) und 6,39 (pH 7) mg/kg  $\text{Zn}^{2+}$ ; 5,19 (pH 5) und 34,80 (pH 6) mg/kg  $\text{Cu}^{2+}$ ; 40,41 (pH 5) und 54,58 (pH 6) mg/kg  $\text{Pb}^{2+}$ . Die Komplexbildungskonstanten für Huminsäure und divalente, chalkophile Schwermetalle ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ) wurden mittels indirekter Speziation durch Anionenaustausch im unteren ppm-Metallionenkonzentrationsbereich ermittelt. Unter Verwendung des Ladungs-Neutralitäts-Modells ergeben sich  $\log \beta_{\text{LC}}$ -Werte von 5,38 (pH 5) und 5,88 (pH 6) für  $\text{Pb}^{2+}$  sowie 5,06 (pH 5) und 5,19 (pH 6) für  $\text{Cu}^{2+}$ . Die Beladungskapazitäten wurden zu 0,318 (pH 5) und 0,569 (pH 6) für  $\text{Pb}^{2+}$  sowie 0,348 (pH 5) und 0,485 (pH 6) für  $\text{Cu}^{2+}$  ermittelt. Eine indirekte Speziation wurde im ternären System Schwermetall (Pb, Cu) / Seesand / Huminsäure bei pH 5 mittels Batchexperiment / Anionenaustausch / ICP-OES durchgeführt. Unter Kenntnis der zuvor ermittelten  $\log \beta_{\text{LC}}$ -Werte und Sorptionsparameter des Systems (Pb, Cu) / Seesand können unter der Annahme, dass alle Reaktionen reversibel sind, die Anteile jeder beteiligten Schwermetallspezies vermessen bzw. errechnet werden. Der Anteil an sorbierter Schwermetallspezies kann bestimmt werden, aber die Art der Bindung des Metallkomplexes ( $\text{M}^{2+}$ -HA-Geomatrix, HA- $\text{M}^{2+}$ -Geomatrix) bleibt offen.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der Sorptionsstudien für  $^{131}\text{I}$ -markierter Kohlenwasserstoffverbindungen
- Synthese und Aufarbeitung von trägerfreien Radioisotopen am Institut für Kernchemie (Universität Mainz) und am Institut für Nuklearchemie (Forschungszentrum Jülich)
- Bestimmung der Sorptionskoeffizienten für toxische Schwermetalle bei Anwesenheit geogener Kohlenstoffverbindungen.

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

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

K. Franke, D. Rößler, H. Kupsch; Radiolabelling of humic substances for environmental investigations; Proc. of 5<sup>th</sup> International Conference on Nuclear and Radiochemistry; NRC 5; 3-8 September 2000, Pontresina (Switzerland); Vol. 2, 466 - 469 (2000)

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0710</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.07.2000 bis 30.06.2003		<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.750.726,00 DM		<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 Carbonatkomplexen berücksichtigt werden. Weiterhin werden die Eigenschaften von schwerlöslichen zink-, cadmium- und bleihaltigen Verbindungen untersucht und im Technikumsmaßstab hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit als langfristig wirksame Speicherminerale experimentell überprüft.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Ableitung einer abgesicherten Datenbasis für 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 Technikumsmaßstab: Durchführung von Säulen- und Batchversuchen zur Überprüfung der Anwendbarkeit des entwickelten thermodynamischen Parametersatzes. Hierbei wird die tatsächliche Wirksamkeit von "geochemischen Puffern" oder "Fängermineralen" hinsichtlich ihrer Rückhaltung von Pb, Zn und Cd aus schadstoffhaltigen Lösungen untersucht und mit den Modellierungsergebnissen verglichen.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Beginn von ramanspektroskopischen Untersuchungen zur Chlorokomplexbildung von Zink und Cadmium (Herr Dr. Rudolph). Beginn von isopiesticen Untersuchungen an ternären und zink- und cadmiumhaltigen Lösungen (Universität St. Petersburg). Beschaffung von Teilen für und Aufbau einer Apparatur für potentiometrische Messungen. Beginn der Literaturrecherche zu Daten für basische zink-, cadmium- und bleihaltige Verbindungen. Beginn von Löslichkeitsmessungen in bleihaltigen sauren Systemen. Weiterentwicklung von Modulen des Programmpakets Wotan zur Spektrenanalyse und Parameterberechnung.

### **4. Ergebnisse**

Die Literaturrecherche zu basischen blei-, zink- und cadmiumhaltigen Verbindungen ist weitgehend abgeschlossen. Experimentelle Ergebnisse der begonnenen Messungen werden erst im kommenden Halbjahr vorliegen.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Fortführung der oben genannten Arbeiten (Ramanspektroskopie, Isopiestic, Potentiometrie, Löslichkeitsmessungen). UV-Spektroskopische Untersuchungen an wässrigen Pb, M || Cl, SO<sub>4</sub> -Systemen. Abschluss der Entwicklungsarbeiten am Programmpaket WOTAN. Literaturrecherche zu thermodynamischen Eigenschaften von phosphathaltigen Systemen.

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0720</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.10.2000 bis 30.09.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.10.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.034.548,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Lux	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Betriebsplanzulassung des Bohrgerätes für den Einsatz unter Tage auf der Grube Glückauf
- Bohrarbeiten und Entnahme von Steinsalzproben mit unterschiedlichen Durchmessern auf der Grube Glückauf
- Planung, Auswahl und Bestellung der steuerungs- und messtechnischen Ausrüstung für den Modellprüfstand
- Literaturstudium und Grundlagenuntersuchungen für einen theoretischen Ansatz zur Beschreibung der Verheilung von Gefügeschädigungen

### **4. Ergebnisse**

keine

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

- Herstellung von Vollprüfkörpern zur Durchführung festigkeitsmechanischer Versuche
- Bohrarbeiten zur Entnahme von Steinsalzproben mit unterschiedlichen Durchmessern
- Planung und Konstruktion der mechanischen Komponenten des Modellprüfstandes
- Durchführung von Versuchen an Vollprüfkörpern zur Ermittlung der stoffmodellbeschreibenden Parameter für das Stoffmodell Hou/Lux
- Theoretische Grundlagenuntersuchungen zur Integration eines Verheilungsansatzes in das Stoffmodell Hou/Lux

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> BGR, Stilleweg 2, 30655 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0730</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 1: Gesamtprojektkoordinierung, geochemische Untersuchungen und Monitoring		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Altlasten in Bergschadensgebieten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.10.2000 bis 30.09.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.10.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 146.956,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. Knödel	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Risiken für die nachhaltige sozio-ökologische Entwicklung der Stadt Staßfurt ergeben sich aus vielfältigen geogenen und anthropogenen Belastungen. Im Vordergrund stehen Veränderungen im Gefolge des Kali-, Steinsalz und Braunkohlenbergbaus mit dramatischen Bergschadensfällen, fortdauernden Absenkungserscheinungen und Tagesbrüchen sowie Altlasten aus einer 140jährigen Industriegeschichte. Ziel des Verbundvorhabens ist die interdisziplinäre Zusammenfassung, Analyse und Bewertung vorliegender Einzelergebnisse, die aufgabenbezogene Evaluierung von verfügbaren Methoden, Forschungsansätzen und Lösungen, die Durchführung ergänzender Untersuchungen und methodischer Tests sowie die Feststellung des weiteren Forschungs- und Handlungsbedarfs. Das Verbundvorhaben besteht aus 6 Teilvorhaben (TV). Die Arbeiten der BGR (TV 1) konzentrieren sich auf die Gesamtprojektkoordinierung, geochemische Untersuchungen und Monitoring. Verbundpartner sind

- TU Clausthal, Institut für Aufbereitung und Deponietechnik, Professur für Deponietechnik und Geomechanik, (TV 2)
- K-UTECH Sondershausen, Kali- und Umwelttechnik mbH, (TV3)
- Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus, Lehrstuhl für Umweltgeologie, Fakultät 4 (Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik), (TV 4)
- IHU Stendal, Gesellschaft für Ingenieur-Hydro- und Umweltgeologie mbH (TV 5) und
- Geophysik GGD Leipzig (TV 6).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 6 Umweltgeochemische Bestandsaufnahme und exemplarische Analyse des Gefährdungspotentials am Deponiestandort "Concordiahalde"
- AP 6.1 Umweltgeochemische Bestandsaufnahme im Stadtgebiet Leopoldshall
- AP 6.2 Analyse des Gefährdungspotentials am Deponiestandort "Concordiahalde"
- AP 6.3 Bewertung des Gefährdungspotentials und Ableitung des event. Handlungsbedarfes zur Gefahrenabwehr

AP 8.2 geoelektrische Erkundung der Internstruktur der Concordialhalde

AP 8.3 Monitoring

AP 10 Zusammenfassende Bewertung des Gefährdungspotentials sowie Ableitung des weiteren Handlungs- und ggf. Forschungsbedarfs

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Für die umweltgeochemische Bestandsaufnahme und exemplarische Analyse des Gefährdungspotentials am Deponiestandort "Concordialhalde" (AP 6.1, 6.2) wurden im Untersuchungsgebiet 460 Bodenproben aus dem Oberboden entnommen und für die geochemische Analytik vorbereitet. In Zusammenarbeit mit der BTU Cottbus erfolgte die Auftragsvergabe für die Durchführung der geochemischen Analytik. Die Ergebnisse werden im Februar 2001 erwartet.

Die Ausschreibung für die geoelektrische Erkundung der Internstruktur der Concordialhalde wurde vorbereitet (AP 8.2).

Zur Durchführung von Monitoringversuchen an der Concordialhalde sind drei Bohrungen mit dem Bohrgerät der BGR niedergebracht und als Pegel ausgebaut worden (AP 8.3).

Mit allen Verbundpartnern, den Behörden des Landes Sachsen-Anhalt, des Landkreises Aschersleben-Staßfurt sowie mit der Stadt Staßfurt wurde eine Projektanlaufbesprechung durchgeführt.

### **4. Ergebnisse**

entfällt

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten konzentrieren sich in der nächsten Zeit auf folgende Arbeitspakete:

- Historische Recherche und Nutzungsanalyse (in Zusammenarbeit mit BTU) (AP 6.1.1)
- Erarbeitung von Kartengrundlagen für die umweltgeochem. Bestandsaufnahme (AP 6.1.3)
- Erstellung von Belastungsgradkarten für ausgewählte Parameter (AP 6.1.4)
- Auswertung von Depositionsmessungen (AP 6.1, 6.2)
- Geoelektrische Erkundung der Internstruktur der Concordialhalde (AP 8.2)
- Monitoring-Versuche (AP 8.3)

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU-Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2 A, 38678 Clausthal-Zellerfeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0740</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 2: Gebirgsmechanische Analyse des Bergschadensgebietes Staßfurt		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Altlasten in Bergschadensgebieten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.10.2000 bis 30.09.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.10.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 115.000,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Lux	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ursache für die Gefährdung der Tagesoberfläche im Bereich der Stadt Staßfurt sind die abgesoffenen ehemaligen Kaliwerke, da die dadurch bedingten Senkungs- und Bruchvorgänge die weiteren hydraulischen, geochemischen und ökotoxischen Prozesse bewirken. Vor diesem Hintergrund sollen folgende Aufgaben bearbeitet werden:

- 1) Erarbeitung eines geomechanischen Funktionsmodells, um das Tragverhalten des Gebirges grundsätzlich standortbezogen zu analysieren und entsprechend den vorliegenden Daten das Modell in seinen Parametern soweit möglich zu validieren.
- 2) Erste Prognose zukünftiger Senkungen unter verschiedenen (hypothetischen) Randbedingungen (Stabilisierungsmaßnahmen).

Bezug zu anderen Vorhaben:

TV1: Strukturgeologische Analyse des für die Gefahrenabwehr relevanten Gebietes

TV3: Hydrologische Analyse der oberflächennahen Strömungsvorgänge und geohydraulische Beurteilung der tiefen Grundwasserleiter

TV4: Ingenieurgeologisch – bergmännische Bergschadensbewertung

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- a) Erarbeitung eines geomechanischen Modells, um das Tragverhalten des Gebirges standortbezogen zu analysieren.
- b) Diskretisierung und Verifizierung eines FEM/FDM Berechnungsmodells zur rechnerischen Simulation des Tragverhaltens.
- c) Sensitivitätsanalyse mit Variation der das Tragverhalten bestimmenden Parameter.
- d) Erste Prognose zukünftiger Senkungen unter verschiedenen (hypothetischen) Randbedingungen (Stabilisierungsmaßnahmen).
- e) Erarbeitung von Empfehlungen für das weitere Vorgehen.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Zusammenstellung der geologischen, geometrischen und mechanischen Randbedingungen für den Aufbau eines geomechanischen Modells

### **4. Ergebnisse**

keine

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Erarbeitung eines geomechanischen Modells

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> K-UTEC, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0750</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 3: Bergschadensbewertung, Geohydraulik und Sanierungsmaßnahmen			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Altlasten in Bergschadensgebieten			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.10.2000 bis 30.09.2001		<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.10.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 369.242,00 DM		<b>Projektleiter:</b> Dr. Seifert	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

- Gefahrenabwehr für Altlasten in Bergschadensgebieten mit Destabilisierungsvorgängen im Raum der Stadt Staßfurt
- Ingenieurgeologisch – bergmännische Bergschadensbewertung
- Geohydraulische Bewertung der tiefen Grundwasserleiter
- Darstellung der Möglichkeiten für eine Bergschadenssanierung mit neuentwickelten Baustoffen und Technologien
- Prüfung des Einsatzes fernerkundlicher Verfahren für die Beurteilung von Bergschadensentwicklungen im Raum der Stadt Staßfurt (Verbindung mit DLR – Projekt 50EE9911)

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

**AP 2** Fernerkundung zur Untersuchung von Subrosionserscheinungen und Destabilisierungsvorgängen

- Aufbereitung des Datenmaterials (hochauflösende Flugzeug- und Satellitendaten)
- Datenbewertung mittels fernerkundlicher Methoden

**AP 3** Hydrogeologische Analyse der oberflächennahen Strömungsvorgänge und geohydraulische Beurteilung der tiefen Grundwasserleiter

- Aktualisierung des Kenntnisstandes, Datenrecherche
- Darstellung der Möglichkeiten zur Ableitung von Strömungspotentialen
- Definition der Parameterbereitstellung für eine geohydraulische Modellierung der tiefen Grundwasserleiter
- Interpretation der hydrogeologischen und geohydraulischen Befunde hinsichtlich ihrer bergschadensrelevanten Wirkungen
- Konzipierung weiterführender Untersuchungen (Geophysik, Bohrungen, u.a.)

**AP 4** Ingenieurgeologisch – bergmännische Bergschadensbewertung

- Vertiefte Auswertung des Deformationsgeschehens an der Tagesoberfläche
- Bewertung der latenten Bruchgefahr
- Aktualisierung der Vernässungsprognose

**AP 9** Sicherungs- und Sanierungstechnologien

- Untersuchung der technischen Anforderungen für den Einbau salinärer Baustoffe in die Hohlräume des Untergrundes
- Untersuchung des Baustoffverhaltens (Penetrierfähigkeit, Unterschichtungsvermögen, u.a.) im Technikumsmaßstab
- Weiterentwicklung von Mörtelsystemen salinärer Baustoffe
- Konzeption eines Kontroll- und Überwachungssystems zur Überprüfung des Erfolges der Sanierungsmaßnahmen

**3. Durchgeführte Arbeiten**

- Daten- und Literaturrecherche
- Bearbeitung der Senkungsdaten der Messkampagne 2000, Stadtgebiet Staßfurt
- Datenaufbereitung und Übergabe an die Projektpartner TU Clausthal und BTU Cottbus

**4. Ergebnisse**

Nach zweimonatiger Bearbeitungszeit können noch keine abgeschlossenen Ergebnisse dargestellt werden. Es wird auf die Bearbeitungsphase 2. Quartal 2001 verwiesen. Hier sind nach Arbeitsplan die ersten Ergebnisse in Form von Berichten vorzulegen.

**5. Geplante Weiterarbeiten**

Fortsetzung bzw. Aufnahme der Bearbeitung zu den Arbeitspaketen AP 2, AP 3, AP 4 und AP 9

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

keine

**7. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Brandenburgische TU Cottbus, Postfach, 03013 Cottbus		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0760</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 4: Thermodyn. Modellierung, Abdichtsysteme von Altablagerungen, Gesamtbewert. Gefährdungspotential		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Altlasten in Bergschadensgebieten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.10.2000 bis 30.09.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.10.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 324.925,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Voigt	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel der Studie ist die interdisziplinäre Zusammenfassung, Analyse und Bewertung vorliegender Einzelergebnisse, die aufgabenbezogene Evaluierung von verfügbaren Methoden, Forschungsansätzen und Lösungen, die Durchführung ergänzender Untersuchungen und methodischer Tests sowie die Feststellung des weiteren Forschungs- und Handlungsbedarfs.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Thermodynamik der Lösungsvorgänge im Salz- und Deckgebirge

Datenrecherche

Vorbereitung der Daten auf die Programmsysteme

Klärung der hydrodynamischen und hydrogeochemischen Randbedingungen

Thermodynamische Modellierung

Gefährdungsabschätzung

Abdichtung von Halden und Deponien in senkungsgefährdeten Gebieten

Studie der international verwendeten Barriersysteme für Basis- und Oberflächenabdichtungen

Bewertung der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Altablagerungen bezüglich ihres Emissionspotentials

Maßnahmenkatalog für die Abdichtung von Halden und Deponien in senkungsgefährdeten Gebieten nach Standortklassen

Bewertung des Gefährdungspotentials sowie Ableitung des notwendigen Handlungs- und Forschungsbedarfs

Regionalisierung der geologisch-strukturellen hydrodynamischen, hydrogeochemischen, gebirgsmechanischen Verhältnisse in einer Karte des natürlichen Gefährdungspotentials

Ableitung eines Maßnahmenkatalogs zur Gefahrenabwehr (-minderung)

Defizitanalyse und Ableitung des weiteren Handlungs- ggf. Forschungsbedarfs

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

Erfassung der vorhandenen Gutachten, die bei der Stadtverwaltung Staßfurt vorliegen.

Beginn der Übertragung der Daten in die Fragebögen des Mitteldeutschen

Altlasteninformationssystem MDALIS.

Kontaktaufnahme und Datenrecherche bei den Kooperationspartnern BGR, Stadtverwaltung Staßfurt, K-UTEC Sondershausen und IHU Stendal zur Klärung der hydrodynamischen und hydrogeochemischen Randbedingungen.

Beginn der Aufbereitung der Daten für die verschiedenen Programmsysteme.

Erste Studien der international verwendeten Barriersysteme für Basis- und Oberflächenabdichtungen und Bewertung der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Altablagerungen bezüglich ihres Emissionspotentials.

### **4. Ergebnisse**

bisher keine

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

siehe Punkt 2

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> IHU Geologie und Analytik Gesellschaft f. Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH, Dr. Kurt-Schumacher-Straße 23, 39576 Stendal		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 C 0770</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 5: Struktur- und hydrogeol. Analyse im Bergschadensgebiet Staßfurt - Entwicklung hydraulischer Sicherungs- und Sanierungskonzepte		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Altlasten in Bergschadensgebieten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.10.2000 bis 30.09.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.10.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 369.970,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. Lauterbach	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat das Ziel, anhand einer detaillierten struktureologischen und hydrogeologischen Analyse des Stadtgebietes von Staßfurt und seiner Umgebung Lösungen zu finden, die eine möglichst sichere Entwicklung der Stadt und ihres Umfeldes ermöglichen. Vorrangig sollen solche Lösungen gefunden werden, die anthropogen verursachte Subrosionsvorgänge reduzieren und auf die langfristig angelegte Sanierung der Bergschäden einschließlich ihrer Ursachen orientieren.

Das Vorhaben wird in Zusammenarbeit mit folgenden Institutionen und Firmen bearbeitet:

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin
- Technische Universität Clausthal, Institut für Aufbereitung und Deponietechnik
- Kali-Umwelttechnik, Sondershausen
- Brandenburgische Technische Universität Cottbus
- Geophysik GGD, Leipzig

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm wird entsprechend den Vorhabenszielen in mehrere Arbeitspakete untergliedert, die vorerst relativ selbständig bearbeitet werden und in einer späteren Bearbeitungs- etappe zu einer Synthese zusammengeführt werden. Folgende Arbeitspakete werden ausgehalten:

- Strukturgeologische Analyse des für die Gefahrenabwehr relevanten Gebietes  
In diesem Paket wird der Kenntnisstand zur Strukturgeologie aktualisiert. Es wird ein Geographisches Informationssystem eingerichtet. Die Daten werden ausgewertet, aus Erkenntnissen zur Strukturgenese des Bearbeitungsgebietes werden Schlussfolgerungen für die nachhaltige Entwicklung abgeleitet.

- Hydrogeologische Analyse der oberflächennahen Strömungsvorgänge  
In einer Recherche der oberflächennahen hydrogeologischen Verhältnisse wird der Kenntnisstand ermittelt, die Daten werden in einem Geographischen Informationssystem erfasst (Grundwassermessstellen, Spiegelmessungen, Hydrochemie, Kartographie). Aus der Gesamtschau ergeben sich Ableitungen für die Bearbeitung des Gesamtprojektes.
- Hydraulische Sicherung und Sanierung  
Nach einer Aktualisierung des Kenntnisstandes werden die Auswirkungen der Wasserhaltung auf die Stadtentwicklung untersucht und im Komplex mit geologischen und geotechnischen Gegebenheiten ausgewertet.
- Interdisziplinäre Auswertung  
Struktur- und hydrogeologische Ergebnisse sind mit den Untersuchungen zur Wasserhaltung und den Ergebnissen der übrigen Teilvorhaben zu verknüpfen und im Hinblick auf Nachhaltigkeit und Gefahrenabwehr auszuwerten. Weitere Maßnahmen sind daraus abzuleiten.

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

- Recherche von Bohrergebnissen, Aufnahme von Bohrungsdaten in eine Datenbank
- Recherche von Grundwasserdaten, Aufbau einer Datei
- Recherche zur Wasserhaltung im Stadtgebiet

### **4. Ergebnisse**

Die Auswertung der Datenerfassung erfolgt in einem späteren Bearbeitungsstadium.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten werden planmäßig weitergeführt. Als nächste Arbeitsschritte sind geplant: Einrichtung einer Datenbank, kartographische Darstellung der Ergebnisse.

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

keine

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

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Geophysik GGD - Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienstleistungen mbH, Bautzner Straße 67, 04332 Leipzig		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 C 0780</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 6: Geophysikalische Erkundung - Seismik		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Altlasten in Bergschadensgebieten		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.10.2000 bis 30.09.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.10.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 104.469,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. Schuck	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen sozio-ökologischen Entwicklung sollen im Rahmen dieses interdisziplinären Projektes, Maßnahmen zur nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt entwickelt werden. Im TV 6 werden auf exemplarisch ausgewählten Profilen hochauflösende reflexionsseismische Messungen zur Erkundung und Kontrolle des geologischen Strukturbaus und lithologischer Parameter als Grundlage für die Analyse hydrogeologischer und gebirgsmechanischer Prozesse durchgeführt. Über die Durchführung der Feldmessungen und ihrer Interpretation hinausgehend, ist für den weiteren Forschungs- und Handlungsbedarf ein Konzept zur flächenhaften seismischen Erkundung der strukturgeologischen Situation im Bereich der Stadt Staßfurt zu entwickeln.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1 Vorbereitung und Management der seismischen Feldmessungen
- AP 2 Durchführung der Feldmessungen
  - 2.1 Permitting
  - 2.2 Mobilisation, Demobilisation
  - 2.3 Einmessen der Profile
  - 2.4 Seismische Messungen
  - 2.5 Qualitätskontrolle
- AP 3 Datenbearbeitung
- AP 4 Interpretation, Bericht
- AP 5 Gemeinsame Interpretation und Modellentwicklung
- AP 6 Studie zum weiteren Forschungs- und Handlungsbedarf

### **3. Durchgeführte Arbeiten**

AP 1 Vorbereitung und Management der seismischen Feldmessungen

1.1. Abstimmung des Feldeinsatzes der Seismik mit den Aktivitäten der Arbeitsgruppen

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Außenstelle Berlin),  
Dr. K. Knödel
- IHU Stendal, Gesellschaft für Ingenieur-Hydro-und Umweltgeologie mbH,  
Dr. M. Lauterbach

1.2. Personelle und zeitliche Planung der seismischen Feldmessungen

### **4. Ergebnisse**

- Lokale Eingrenzung des Messgebietes
- Voraussichtlicher Termin der seismischen Feldmessungen: Ende Januar 2001

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

AP 1 Vorbereitung und Management der seismischen Feldmessungen

- Befahrung des Messgebietes und exakte Festlegung der Messprofile
- Festlegung der Vorgehensweise und Abstimmung des Einsatzes mit anderen geophysikalischen Messverfahren

Durchführung der weiteren Arbeitspakete im Untersuchungsprogramm

### **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> vom 01.11.2000 bis 31.10.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.11.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.100.829,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. 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 mit dem NWA
- 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**

- Konzeption Messsysteme und Messwerterfassung, Versuchsplanung
- Konstruktion Versuchsaufbau für die Laboruntersuchungen
- Konzeption Versuchsaufbau und geotechnische Probenaufbereitung für die halbtechnischen Untersuchungen
- Einsetzbarkeitsstudie von HFSS-Feldberechnungs-Softwaremodellen
- Untersuchungen zu Sensorstrukturen

### **4. Ergebnisse**

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse sowie die Konzeptionen zum Messsystem und zu den Versuchsaufbauten für die Labor- und halbtechnischen Untersuchungen lassen erkennen, dass das Forschungsprojekt im geplanten Arbeitsumfang und Ablauf realisierbar ist.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Fortsetzung der Arbeiten gemäß Arbeitsprogramm (AP2., AP3., AP4.)

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

keine

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

keine

<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> vom 01.11.2000 bis 31.10.2003	<b>Berichtszeitraum:</b> vom 01.11.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 296.399,00 DM	<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 folgendes Arbeitsprogramm:

- AP 1: Konzeption von Messsystemen für Zeit- und Frequenzbereich, Versuchsplanung
- AP 2: Materialuntersuchungen von versch. 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**

Entsprechend dem geltenden Zeitplan des Vorhabens wurden die Bearbeitung der Arbeitspakete AP 1 und AP 2, Konzeption von Messsystemen und Materialuntersuchungen, aufgenommen. Der Versuchsaufbau zur Probeaufbereitung wurde gebaut. Es wird erwartet, dass die spätere Messung in dem Frequenzbereich von 150 MHz bis 1,3 GHz geschehen wird. Für diesen Bereich wurde ein Messbehälter mit Hochfrequenzeinspeisung konstruiert und gefertigt. Das zu messende Material wurde bestellt. Damit wurden die Arbeiten entsprechend den Arbeitspaketen 1 und 2.2 erledigt.

### **4. Ergebnisse**

Der Versuchsaufbau wurde mit Ersatzmaterial getestet und für funktionsfähig gefunden.

### **5. Geplante Weiterarbeiten**

Das bestellte Bentonit-Testmaterial soll nach Lieferung ausgetrocknet und in trockenem Zustand gemessen werden. Die Restfeuchte wird mit der Ausfriermethode (Funktionsprinzip des Feuchtemessgeräts LUMBRICUS) bestimmt.

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

keine

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

keine



## **2.4 W-Vorhaben**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZ-Jülich, Postfach 19 13, 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 31.12.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.497.738,00 DM	<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

Zur Entwicklung des digitalen Vielkanal-Analysators fand eine Projektsitzung statt, auf der die Konzeptvorschläge des Entwicklers diskutiert wurden. Die Bilder aus dem in Ahaus installierten Drei-Kamerasystem wurden bis 7. Juli von Luxemburg aus fernabgefragt. Die Daten wurden ausgewertet, archiviert und der Abschlussbericht im Entwurf erstellt. Ein weiterführender Test ist seitens Euratom angefragt.

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

Hochauflösende Satellitenaufnahmen über Kushab/Pakistan wurden mit dem MAD-Verfahren (multivariate alteration detection) untersucht. Eine neue Methode zur Fusion von multi-spektralen und panchromatischen Bildern (auf die sog. Wavelet-Transformation gestützt), die sich als sinnvolle Vorstufe zur Änderungsdetektion bietet, wurde in Software implementiert.

### 4. Ergebnisse

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

Hinsichtlich des digitalen Vielkanal-Analysators wurde beschlossen, ein Gerätekonzept mit Micro Controller zu realisieren.. Der Testbetrieb der Datenfernabfrage zwischen Ahaus und Luxemburg lief verlustfrei. Die wesentlichen Ergebnisse wurden in Absprache mit BMWi der Kernindustrie vorgestellt.

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

Im Zeitraum der beiden Kushab-Aufnahmen wurden keine safeguards-signifikanten Änderungen beobachtet. Saisonale Änderungen in Vegetation und Schattenbildung waren deutlich zu sehen und gut zu interpretieren.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

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

Der Entwickler erarbeitet ein Design-Konzept des digitalen Vielkanal-Analysators gemäß Beschluss und schlägt eine Planung für Feldtests vor. Der Datenfernabfragetest in Ahaus soll ggf. zur Klärung anlagenspezifischer Safeguardsfragen weiterlaufen. Eine entsprechende informelle Anfrage von Euratom liegt vor.

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

Sobald zusätzliche Aufnahmen aus Kanada zur Verfügung stehen, wird es möglich sein, das neue Fusionsverfahren zu untersuchen. Hierfür werden panchromatische und multispektrale Bilder zu beiden Zeitpunkten benötigt. Diese Aufnahmen sind bestellt worden. Außerdem ist geplant, hyperspektrale Daten zu analysieren.

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

zur Zeit nicht zutreffend

### 7. Berichte, Veröffentlichungen

Pekkarinen, J.; Meylemans, P.; Kuribayashi, T.; Leslie, R.F.; Neumann, G.; Richter, B.; Rudolf, K.; Schink, F.-J.: Joint Remote Data Transmission Field Trial at Ahaus – Final Results (DRAFT)  
Canty, M.J.; Schlittenhardt, J.: Satellite Data Used to Locate Site of 1998 Indian Nuclear Test. Accepted for publication in Eos, Transactions of the American Geophysical Union.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> FZ-Jülich, Postfach 19 13, 52425 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 W 6228</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Das "gestärkte Safeguardssystem" und die Nichtverbreitungs-Herausforderungen -Perspektiven und innovative Lösungsansätze-		
<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 31.12.2001	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.248.996,00 DM	<b>Projektleiter:</b> Dr. Stein	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Am Ende des 20. Jahrhunderts stellt sich das internationale Nichtverbreitungsregime als von Widersprüchen gezeichnet dar. Nicht alle seine Komponenten sind so gefestigt, dass sie anhaltenden, starken Anfechtungen standhalten könnten. Die Staatengemeinschaft und damit auch Deutschland müssen eine fortlaufende, regelmäßige Überprüfung und Anpassung seiner Komponenten sicherstellen, um vorhandene Probleme zu lösen. Im Vordergrund des Projektes stehen folgende miteinander verwobene Problemfelder:

- Steigerung der Effizienz und Effektivität der Safeguards, speziell die Integration von INFCIRC/153 und INFCIRC/540;
- Weiterentwicklung des Nichtverbreitungsregimes;
- Überwachungsmaßnahmen für ein Cut-off-Abkommen vor dem Hintergrund von INFCIRC/540;
- Synergien aus Verifikationsabkommen zur Eindämmung von Massenvernichtungswaffen.

Durch Studien und im Rahmen einer Arbeitsgruppe werden wissenschaftlich fundierte und politisch umsetzbare Hinweise für eine sachgerechte, konsensfähige deutsche Nichtverbreitungs- und nuklearrelevante Technologiepolitik gegeben.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Einrichtung eines Arbeitskreises aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft zur Diskussion und Weiterentwicklung der Nichtverbreitungspolitik. Erarbeitung von Studien zu den Problemfeldern:

- Gestärktes Safeguardssystem (Effizienz und Effektivität),
- Überwachung eines Cut-off-Abkommens,
- Synergien der Verifikationssysteme.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum fanden zwei Sitzungen der Projektgruppe (Arbeitskreis) Nichtverbreitung in den Räumen der DGAP, Berlin, statt:

1. 7.7.2000, Themen waren die Überprüfungskonferenz 2000 des NPT (Referenten VLR I Horsten, AA, VLRI Stanzel, AA), Information Warfare als neue Dimension der Proliferation? (Dr. Mey, DGAP), Internationale Ansätze zum Abbau russischen Waffen-Pu (Prof. Kaiser, DGAP).
2. 15.12.2000, Themen waren wiederum der Fortgang des internationalen Pu-Projekts mit Russland (Stanzel, AA), der Stand der internationalen Kontrollmaßnahmen im Irak (VLR Biontino, AA), Proliferation von Raketenwaffen generell (Dr. Herrmann, BND) und speziell in Nordkorea (Prof. Schmucker, TU München).

Anwesend waren jeweils etwa 35 Expertinnen und Experten aus Politik, Administration, Wissenschaft und den Medien. Protokolle der Sitzungen wurden bzw. werden noch (15.12.) erarbeitet.

Am 19.10.2000 wurde in München ein Seminar "Safeguards beim FRM-2" durchgeführt. Beteiligt waren Experten aus dem In- und Ausland, darunter Mitarbeiter von IAEA und EURATOM. Schwerpunkt des Seminars war die Diskussion wirksamer Safeguards für den FRM -2.

Beitrag zur Vorbereitung und Umsetzung des INMM - ESARDA - Workshop "Science and Modern Technology for Safeguards" in Japan vom 13. - 16. 11. 2000 (Dr. Stein).

#### 4. Ergebnisse

Mit der Verabschiedung eines Schlussdokuments im Konsens auf der 6. Überprüfungskonferenz des Nichtverbreitungsvertrages ist eine weitere atmosphärische Verschlechterung im Abrüstungsbereich fürs erste verhindert worden. Es bleibt abzuwarten, ob davon positive Impulse auf den weiteren Abrüstungsprozess ausgehen werden. Die Konferenz hat tiefgreifende Gegensätze zwischen den USA einerseits und Russland bzw. China andererseits sowie zwischen den Kernwaffenstaaten und den ungebundenen Nichtkernwaffenstaaten offenbart. Diese Gegensätze konnten nur mit Mühe und z.T. mit Formelkompromissen überbrückt werden. In bezug auf die IAEO-Sicherungskontrollen hat sich die Konferenz zur Universalität von Safeguards einschließlich des Zusatzprotokolls INFCIRC/540 bekannt, wobei dessen Anwendungsbereich auch auf Kernwaffenstaaten erweitert werden sollte. Das Ziel der Integration von INFCIRC/153 und 540 ist ausdrücklich anerkannt, die Forderung nach Ausweitung der full-scope Safeguards auf das Zusatzprotokoll in Kernwaffenstaaten jedoch strittig geblieben. Die Nichtmitglieder des NVV (Kuba, Israel, Indien, Pakistan) wurden namentlich aufgefordert, dem Zusatzprotokoll beizutreten. Anders als gegenüber dem Irak fand die Konferenz deutliche Worte zur Abmahnung Nordkoreas.

Nachdem bereits in den 90er Jahren ein amerikanisch-russisches Programm zur Entmilitarisierung von HEU in Gang gekommen war, ist jetzt auch für Waffenplutonium ein gemeinsames Entsorgungsprojekt in Sicht. Im Juni 2000 wurde von den Präsidenten Clinton und Putin in Moskau ein bilaterales Abkommen paraphiert, das die Beseitigung von (zunächst) jeweils 34 Tonnen Plutonium auf amerikanischer und russischer Seite vorsieht. Geplant ist, das Material in Russland vollständig, in den USA vorwiegend zu MOX-Brennstoff (und teilweise auch zu endlagerfähigen Glaskörpern) zu verarbeiten. Andere Länder sind aufgerufen, Russland dabei mit finanzieller und technischer Hilfe zu unterstützen. Hier ist auch Deutschland gefordert, eine Entscheidung hinsichtlich des Exports der MaX-Technologie aus Hanau zu fällen.

Intensive Diskussionen auf dem Seminar FRM-2 hatten die proliferationspolitischen Implikationen der Nutzung von HEU und die Rolle von „Containment & Surveillance“ (C & 5) sowie die Funktion von Inspektionen zum Gegenstand. Dabei stellt sich die Frage, ob schon die C & 5 - Maßnahmen alleine ausreichen, um die wesentlichen Safeguardsziele zu erreichen, oder ob Inspektionen eine zentrale Rolle spielen müssen, um diese Ziele zu erfüllen. Weitgehender Konsens herrschte darüber, dass „wasserdichte“ Safeguards für den FRM-2 entwickelt und umgesetzt werden können. Ein Entwurf des Abschlussberichtes wird von STE vorbereitet und u.a. der IAEO übermittelt.

Der INMM - ESARDA - Workshop zielte darauf ab, basierend auf europäische Erfahrungen (EURATOM / ESARDA), regionale Konzepte für Safeguardsaktivitäten für den ostasiatischen Raum zu finden. Als Ergebnis des Workshops wurden Vorschläge formuliert: Erstens, es wird ein stufenweises Vorgehen für gemeinsame Safeguards angestrebt, die vorerst auf Japan sowie Südkorea und Reaktoren beschränkt bleibt. Die Aktivitäten könnten dann räumlich (neue Länder) und inhaltlich (weitere Teile des Brennstoffkreislaufes) erweitert werden.

#### 5. Geplante Weiterarbeiten

Die nächste Sitzung des Arbeitskreises wird im ersten Halbjahr 2001 stattfinden. Vorbereitet wird eine international besetzte Tagung, die Auswirkungen technologischer Innovationen auf die Proliferationsproblematik und Safeguardskonzepte zum Thema hat.

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

keine

#### 7. Berichte, Veröffentlichungen

W. D. Lauppe, G. Stein, Safeguards und Nichtverbreitungsaspekte beim FRM - II, in: atw, Internationale Zeitschrift für Kernenergie, i. D.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger des BMBF und BMWi 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> vom 01.01.1999 bis 31.12.2002	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2000 bis 31.12.2000	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 4.131.519,00 DM	<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 geklüftetem und wasserführendem 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, FZK, 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 Zweiphasenfluss in den technischen Barrieren und im Gebirge (Vorhaben 02E 9198, 02E 9218, 02E 9390, 02E 9430)
2. Weiterentwicklung und Erprobung von experimentellen Methoden zur Bestimmung der Feuchtheitsausbreitung und zur Beurteilung der geomechanischen Gebirgseigenschaften in der Umgebung untertägiger Hohlräume (Vorhaben 02E 9208, 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 9208, 02E 9218, 02E 9370, 02E 9430)
4. Untersuchungen zu Migration, Transport und Rückhaltung von kolloidalen und gelösten Radionuklidspesies in den technischen und natürlichen Barrieren (Vorhaben 02E 9410, FZK/INE (überwiegend Grundfinanzierung des FZK))

### 3. Durchgeführte Arbeiten

1. Im FLG wurden die Vorbereitungen für den in einem internationalen Projekt geplanten Großversuch (GMT) und die Untersuchungen im Projekt „Effektive Parameter (EFP)“ mit Vorversuchen mit NaCl-Tracern und der Vorbereitung des großräumigen Tracerversuchs fortgesetzt. Im HRL Äspö wurde die Installation der Versuchseinrichtung im Projekt „Prototype Repository“ begonnen.
2. Zur Weiterentwicklung der Methode zur Messung der Feuchtigkeitsausbreitung im Gestein mit geoelektrischen Verfahren wurden im FLG und im HRL Äspö die Messeinrichtungen installiert. Zur Überprüfung der in situ gemessenen Werte wurden Laboruntersuchungen begonnen.
3. In dem unter Leitung der BGR durchgeführten internationalen Projekt „EFP“ wurden die theoretischen Grundlagen untersucht. Vorhaben zur Weiterentwicklung der Methoden zur Berechnung von Gas-Wasser-Prozessen in geklüfteten Medien sowie zur Modellierung der Aufsättigung der Bentonit-Barriere wurden gestartet.
4. Parallel zu den im HRL Äspö laufenden In-situ-Versuchen zur Bestimmung der Ausbreitung von Aktiniden wurden an Bohrkernen aus dem HRL die Durchbruchkurven für Np 237 bestimmt. Mit der für die Versuche mit der CHEMLAB-II-Sonde eingerichteten Handschuhbox wurden die ersten Vorversuche durchgeführt. Ein Vorhaben zur Untersuchung der Rückhaltung von Radionukliden in alterierten Kluftbereichen wurde begonnen.

### 4. Ergebnisse

Siehe Bericht zu den einzelnen Vorhaben in Kapitel 2.1.

### 5. Geplante Weiterarbeiten

1. Für das im HRL Äspö durchgeführte Zweiphasenfluss-Projekt wird der Schlussbericht fertiggestellt. Das internationale Projekt „Prototype Repository“ wird mit Beteiligung von BGR und GRS weitergeführt. Im FL Grimsel werden im „EFP“-Projekt Tracerversuche in niedrigen und hohen Druckbereichen geplant und durchgeführt. Im „GMT“-Projekt werden die Gas-Messungen fortgesetzt und die Instrumentierung des Versuchsorts getestet.
2. Im EFP-Projekt werden die Vorversuche zur Entwicklung und Überprüfung geeigneter Elektrodenkonfigurationen fortgesetzt. Im Projekt „Prototype Repository“ wird die geoelektrische Messanlage getestet und mit den entsprechenden Messketten im HRL Äspö installiert.
3. Mit Hilfe numerischer Vorausberechnungen werden die im EFP-Projekt durchzuführenden großräumigen Versuche geplant. In Zusammenarbeit mit KTH werden die Methoden zur numerischen Modellierung von Gas-Wasser-Prozessen in geklüftetem Gestein weiterentwickelt. Im Rahmen der HRL-Äspö Task Force „EBS“ wird das Aufsättigungsverhalten des Bentonits numerisch simuliert und im Labor untersucht.
4. Im FLG und im HRL Äspö sind Experimente zur Bestimmung der Migration von Kolloiden und gelösten Radionuklidspezies vorgesehen. Die hierfür benötigten geochemischen Transportmodelle werden weiter verbessert. Im Vorhaben zur Untersuchung der Rückhaltung von Radionukliden in alterierten Kluftbereichen werden tomographische Arbeiten durchgeführt und die räumliche Verteilung der Klufsysteme erfasst, visualisiert und quantifiziert.

### 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

#### **Battelle Ingenieurtechnik GmbH, Düsseldorfer Straße 9, 65760 Eschborn**

- 02 E 9340 Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen  68

#### **Brandenburgische TU Cottbus, Postfach, 03013 Cottbus**

- 02 C 0760 Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit Bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 4: Thermodyn. Modellierung, Abdichtsysteme von Altablagerungen, Gesamtbewert. Gefährdungspotential  146

#### **BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover**

- 02 C 0730 Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit Bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 1: Gesamtprojektkoordinierung, geochemische Untersuchungen und Monitoring  140
- 02 E 9098 Entwicklung und Erprobung von zerstörungsfreien seismischen In-situ-Methoden zur Beurteilung der geomechanischen und hydraulischen Gebirgseigenschaften in der Umgebung untertägiger Hohlräume in Endlagerformationen  19
- 02 E 9218 Deutsch-Schweizerische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung (Felslabor Grimsel Phase V). Teilprojekt I: Effektive Parameters (EFP); Teilprojekt II: Numerical Calculation of Two-Phase Flow  43

#### **Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE), Eschenstraße 55, 31224 Peine**

- 02 E 9249 Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt des Nachweises der Betriebssicherheit in einem Endlager  47
- 02 E 9289 Versuchsfeldaufwältigung und Rückgewinnung von Materialproben und Messeinrichtungen  55

#### **Forschungszentrum Jülich GmbH, Leo-Brandt-Straße, 52425 Jülich**

- 02 E 9108 Untersuchungen zur Radionuklidfreisetzung und zum Korrosionsverhalten von bestrahltem Kernbrennstoff aus Forschungsreaktoren unter Endlagerbedingungen  21
- 02 W 6218 Entwicklung digitaler Safeguardstechniken zur Verbesserung der Effektivität und der Kosteneffizienz und Anpassung an das neue Safeguardssystem INFCIRC/540  158
- 02 W 6228 Das "gestärkte Safeguardssystem" und die Nichtverbreitungs-Herausforderungen -Perspektiven und innovative Lösungsansätze-  161

<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe</b>
--

- 02 C 0810 Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-  
Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung  154
- KWA 9901 Unterstützungsprogramm Granit  163

<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 Bedingun-  
gen – Komplexierung von Huminsäuren mit Aktiniden in der Oxidationsstufe  
IV Th, U, Np  57

<b>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Leonrodstraße 54, 80636 München</b>
--

- 02 C 0537 Entwicklung und In-situ-Test akustischer Verfahren zur zerstörungsfreien  
Beurteilung von Auflockerungszonen im Salinar  98
- 02 C 0568 Komplexes Mess- und Auswertinstrumentarium für die untertägige Erkun-  
dung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und Unt-  
ertagedeponien im Salinar; Einbeziehung von Sonarverfahren  105

<b>Geophysik GGD - Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste mbH, Bautzner Straße 67, 04332 Leipzig</b>
---

- 02 C 0780 Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlas-  
ten in Gebieten mit Bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Bei-  
spiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 6: Geophysikalische Erkundung -  
Seismik  150

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

- 02 C 0608 Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD  
(Geochemische Barriere)  113
- 02 C 0618 Erstellung einer Datenbank zur Bestandsaufnahme und Bewertung geoche-  
mischer Informationen zum Verhalten von Abfallinhaltsstoffen im Deckge-  
birge einer UTD/UTV (Sorptionen Datenbank Chemieabfälle)  115
- 02 C 0628 Modellrechnungen zur großräumigen dichteabhängigen Grundwasserbewe-  
gung  117
- 02 C 0659 Langzeitstabilität von Tondichtungen in Salzformationen  123
- 02 C 0669 Hydraulische Kennwerte von tonhaltigen Mineralgemischen zum Verschluss  
von Untertagedeponien  125
- 02 C 0679 Erstellung und Nutzung einer Datenbank zur Bestandsaufnahme und Be-  
wertung methodenabhängiger Informationen zum Mobilisationsverhalten  
und zum Schadstoffpotential von organisch und anorganisch belasteten  
Feststoffen  128
- 02 C 0689 Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien  130
- 02 C 0710 Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Ab-  
falldeponien und Alt- und Umweltlasten  136

- 02 E 8986 Untersuchungen zur geochemischen Stabilität von Tonen in Endlagern und Untertagedeponien im Salzgestein  14
- 02 E 9118 Untersuchungen zur hydraulisch wirksamen Auflockerungszone um Endlagerbereiche im Salinar in Abhängigkeit vom Hohlraumabstand und Spannungszustand  23
- 02 E 9128 Tertiäre Sedimente als Barriere für die U/Th-Migration im Fernfeld von Endlagern  25
- 02 E 9138 Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des geochemischen Milieus in hochsalinaren Lösungen  27
- 02 E 9148 Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransportes  29
- 02 E 9168 Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Gebirgsspannungsumlagerungen (BARIAN)  33
- 02 E 9178 Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)  35
- 02 E 9188 Untersuchungen zur Gas- und Wasserfreisetzung und der Wasserverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels  37
- 02 E 9198 Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabors Grimsel (Phase V)  39
- 02 E 9208 Felslabor Grimsel (Phase V): Effektive Parameter (EFP) –Begleitende geoelektrische Untersuchungen-  41
- 02 E 9239 Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern  45
- 02 E 9269 Abschließende Auswertung des Projektes „Thermische Simulation der Streckenlagerung / Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar“  51
- 02 E 9279 Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“  68
- 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  78
- 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" CORALLUS 2  80
- 02 E 9420 Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Allovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP  84
- 02 E 9430 Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin, Mitarbeit in der Task Force "EBS" des HRL Äspö  86
- 02 E 9440 Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers  88

- 02 E 9450 Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden  90

**Gruppe Ökologie, Institut für ökologische Forschung und Bildung e.V.; Kleine Düwelstraße 21, 30171 Hannover**

- 02 E 9350 Vergleichende Bewertung von Entsorgungsoptionen für radioaktive Abfälle  70

**IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig**

- 02 C 0639 Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar  119

- 02 C 0649 Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von UTD in Salzformationen der flachen Lagerung im Zusammenhang mit dem Verformungs- und Bruchverhalten -Phase III-  121

- 02 E 9158 Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN)  31

- 02 E 9259 Untersuchung des Spannungszustandes und des gebirgsmechanischen Verhaltens von Versatz und Wirtsgestein in Abhängigkeit von der Temperatur  49

**IHU Geologie und Analytik Gesellschaft f. Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH, Dr. Kurt-Schumacher-Straße 23, 39576 Stendal**

- 02 C 0770 Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit Bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 5: Struktur- und hydrogeol. Analyse im Bergschadensgebiet Staßfurt - Entwicklung hydraulischer Sicherungs- und Sanierungskonzepte  148

**Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstr. 15, 04318 Leipzig**

- 02 C 0709 Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen/anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle  134

- 02 E 9329 Komplexierung und Migration von Al, Ga, In, Sc, Y, La und Schwermetallen mit Huminsäure  64

- 02 E 9380 Migrations- und Sorptionsuntersuchungen geogener Lösungen in Wirtsgesteinsformationen (Tone, Tongestein, Salzgestein) mittels tomographischer Radiotracerverfahren (PET)  76

**Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Fritz-Strassmann-Weg 2, 55128 Mainz**

- 02 E 9309 Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nichtradioaktiven Stoffen  60

**Kali und Salz Beteiligungs AG Kassel, Friedrich-Ebert-Str. 160, 34119 Kassel**

- 02 C 0516 Schachtverschlüsse für untertägige Deponien in Salzbergwerken -Forschungsvorhaben Schachtverschluss Salzdetfurth Schacht SA II-  94

<b>Kali-Umwelttechnik GmbH Sondershausen, Am Schacht II, 99701 Sondershausen</b>
--

- 02 C 0699 Untersuchungen zur Entwicklung, Anwendung und Eignung von mineralischen Gelen und Bindemittelsystemen auf Sorelbasis zur Einbettung und Sorption schadstoffhaltiger Abfallstoffe und zur Verbesserung der Barriere Wirkung von Versatz  132
- 02 C 0750 Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit Bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 3: Bergschadensbewertung, Geohydraulik und Sanierungsmaßnahmen  144
- 02 E 9057 Wirksamkeit der Abdichtung von Versatzmaterialien –Technikums- und In-situ-Versuche am Dreistoffsystem polymineralisches Salzgestein-Versatzstoff-Fluid-  16

<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  152

<b>Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung –Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben-, Stilleweg 2, 30655 Hannover</b>
---

- 02 C 0578 Komplexes Mess- und Auswertinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und UTD im Salinar -Einbeziehung elektromagnetischer Verfahren-  107

<b>TU Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09596 Freiberg</b>
---

- 02 C 0527 In-situ-Ermittlung von Strömungskennwerten natürlicher Salzgesteine in Auflockerungszonen gegenüber Gas und Salzlösungen unter den gegebenen Spannungsbedingungen im Gebirge  96
- 02 C 0547 Entwicklung eines Grundkonzepts für langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke im Salinar -Bau und Test eines Versuchsverschlussbauwerkes unter realen Bedingungen-  100
- 02 E 9319 Erweiterung der Datenbasis zur thermodynamischen Modellierung der Reaktionen  $\text{CaSO}_4$ -haltiger Minerale und des Glaserits bei Temperaturen bis 200°C  62
- 02 E 9330 Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen  66

<b>TU Clausthal, Adolph-Roemer-Straße 2A, 38670 Clausthal-Zellerfeld</b>
--

- 02 C 0588 Mechanische und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen des grubenraumnahen Gebirges in Verbindung mit der Planung von Damm- und Verschlussbauwerken im Salinar. -Teil A: Mechanische Modellbildung und mechanisch-hydraulische Tragwerksanalyse-  109

- 02 C 0598 Mechanische und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen des grubenraumnahen Gebirges in Verbindung mit der Planung von Damm- und Verschlussbauwerken im Salinar. -Teil B: Hydraulische Modellbildung-  111
- 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  138
- 02 C 0740 Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit Bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 2: Gebirgsmechanische Analyse des Bergschadensgebietes Staßfurt  142
- 02 E 9410 Transport und Rückhaltung von Schadstoffen in alterierten Kluftbereichen des HRL Äspö  82
- Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80290 München**
- 02 E 9360 Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  72
- Universität Leipzig, Talstraße 35, 04103 Leipzig**
- 02 C 0558 Komplexes Mess- und Auswertinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und UTD im Salinar -Geologie, Einbeziehung von Geoelektrik und Seismik-  102
- Universität Stuttgart, Keplerstraße 7, 70550 Stuttgart**
- 02 E 9370 Weiterentwicklung von Simulationstechniken für Gas-Wasser-Prozesse in geklüftet-porösen Medien auf der Feldskala  74