

Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft

PTE Nr. 26

Bericht über die im zweiten Halbjahr 2003
vom BMBF und BMWA geförderten FuE-Arbeiten zur
„Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formatio-
nen“

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

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Februar 2004

PTE-Berichte

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

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

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

Vorwort

Die Forschungszentrum Karlsruhe GmbH hat im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) die Durchführung der Projektträgerschaft für den Programmbereich „Entsorgung“ übernommen. Dieser umfasst die FuE-Arbeiten, die im Förderkonzept „Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen“ aufgeführt sind. Unter Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen wird hierbei die Endlagerung radioaktiver und die untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle verstanden.

Im Rahmen dieses Auftrages betreut der Projektträger des BMBF und BMWA fachlich und administrativ die vom BMBF und BMWA im Rahmen des Förderkonzepts geförderten FuE-Vorhaben. Die Betreuung der FuE-Vorhaben erfolgt für folgende Referate in den beiden Ministerien:

Endlagerung radioaktiver Abfälle	BMWA Referat IX B3
Untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle	BMBF Referat 623
Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung	BMWA Referat IX B4

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

Dem Bericht liegt folgendes Gliederungsprinzip zugrunde:

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

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

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

Die vom BMWA betreuten FuE-Vorhaben, die so genannten Hausvorhaben, sind mit der Buchstabenfolge KWA gekennzeichnet.

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

Inhaltsverzeichnis

1	Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen	1
1.1	WEITERENTWICKLUNG VON ENDLAGER- UND UNTERTAGEDEPONIEKONZEPTIONEN UNTER SICHERHEITSGESICHTSPUNKTEN	1
1.2	VERBESSERUNG VON INSTRUMENTARIEN FÜR DIE SICHERHEITSBEWERTUNG VON ENDLAGERN UND UNTERTAGEDEPONIEN	3
1.3	WEITERENTWICKLUNG DER KERNMATERIALÜBERWACHUNG	9
2	Formalisierte Zwischenberichte	11
2.1	E-VORHABEN	11
2.2	C-VORHABEN	115
2.4	W-VORHABEN	161
2.5	BMW-HAUSVORHABEN	169
3	Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....	173

1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen

1.1 Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten

02 C 0800	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung	Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar	📖 122
02 C 0810	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	📖 124
02 C 0830	Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 128
02 C 0881	Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement	Bauhaus-Universität Weimar	📖 138
02 C 0942	Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV	GTS Grube Teutschenthal	📖 148
02 C 0963	Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 152
02 C 0973	Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 154
02 C 0983	Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 156
02 C 0993	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und alumosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C bis 90° C	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 158
KWA 2003	Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	📖 170

1.2 Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien

02 C 0689	Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 116
02 C 0710	Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltaf-fällen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 118
02 C 0720	Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 120
02 C 0820	Zeitliche Veränderung der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften	TU Bergakademie Freiberg	📖 126
02 C 0841	Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 130
02 C 0851	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geosonar- und Ultraschallverfahren-	Fraunhofer Gesellschaft, München	📖 132
02 C 0861	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geoelektrik, Seismik, Geologie-	Universität Leipzig	📖 134
02 C 0871	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien -Elektromagnetik, Georadar, Quantitative Charakterisierung von Problemzonen-	Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben GGA, Hannover	📖 136
02 C 0892	Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen	IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 140

02 C 0912	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 142
02 C 0922	Verschlusssystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität	Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Karlsruhe	📖 144
02 C 0932	Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)	IIF e.V., Leipzig	📖 146
02 C 0952	Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 150
02 E 9148	Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransports	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 12
02 E 9178	Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 14
02 E 9198	Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel (Phase V)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 16
02 E 9239	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 18
02 E 9249	Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt des Nachweises der Betriebssicherheit in einem Endlager	DBE Technology GmbH, Peine	📖 20
02 E 9279	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 22
02 E 9330	Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen	TU Bergakademie Freiberg	📖 24
02 E 9340	Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen	BUTECH Umwelttechnik GmbH, Eschborn	📖 26
02 E 9360	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden	TU München	📖 28

02 E 9390	Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt "Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock - Phase II" FEBEX II	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 30
02 E 9400	Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung im Boom Clay in Mol im Projekt: "Integrated in Situ Corrosion Test on Alpha-Active High Level Waste Glass - Phase 2" CORALUS 2	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 32
02 E 9420	Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Allovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 34
02 E 9430	Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin, Mitarbeit in der Task Force "EBS" des HRL Äspö	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 36
02 E 9440	Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖
02 E 9450	Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden	TU München	📖 40
02 E 9461	Untersuchung der chemischen und hydrochemischen Wechselwirkungen von Ton/Zement-Systemen; E-COCLAY - Phase II	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 42
02 E 9471	Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 44
02 E 9481	Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren	Universität Hannover	📖 46
02 E 9491	Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 48
02 E 9501	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinustons im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 50
02 E 9511	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 52
02 E 9521	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 54
02 E 9531	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	DBE Technology GmbH, Peine	📖 56

02 E 9541	Vorprojekt zur Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im URL Bure	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 58
02 E 9551	Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 60
02 E 9561	Modellentwicklung zur Quellung hochkompakter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 - 120°	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 62
02 E 9571	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen	DBE Technology GmbH, Peine	📖 64
02 E 9582	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 66
02 E 9592	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 68
02 E 9602	Untersuchungen zur Gaserzeugung und -freisetzung sowie dem Wassergehalt und der Wasserumverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 70
02 E 9612	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	DBE Technology GmbH, Peine	📖 72
02 E 9622	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 74
02 E 9632	Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 76
02 E 9642	Untersuchungen zur Endlagerung in Großbohrlöchern	DBE Technology GmbH, Peine	📖 78
02 E 9653	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit	Johannes Gutenberg-Universität Mainz	📖 80
02 E 9663	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Entwicklung und Einsatz von Radiotracern für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen	IIF e.V., Leipzig	📖 82

02 E 9673	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 84
02 E 9683	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure - Metall - Kaolinit	Universität des Saarlandes, Saarbrücken	📖 86
02 E 9693	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Quantenmechanische Modellierung der Komplexbildung von Actiniden durch Huminstoffe	TU München	📖 88
02 E 9703	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	📖 90
02 E 9713	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor, Vorprojekt	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 92
02 E 9723	Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 94
02 E 9733	Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein	DBE Technology GmbH, Peine	📖 96
02 E 9743	Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö	DBE Technology GmbH, Peine	📖 98
02 E 9753	Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracer	IIF e.V., Leipzig	📖 100
02 E 9763	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden	TU München	📖 102
02 E 9773	Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 104
02 E 9783	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 106
02 E 9793	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	Öko-Institut e.V., Freiburg	📖 108

- | | | | |
|------------------|--|--|---|
| 02 E 9803 | Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager | FZ-Jülich |  110 |
| 02 E 9813 | Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln |  112 |

1.3 Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung

- | | | | |
|------------------|---|--------------------------------------|-------|
| 02 W 6218 | Entwicklung digitaler Safeguardstechniken zur Verbesserung der Effektivität und der Kosteneffizienz und Anpassung an das neue Safeguardssystem INF-CIRC/540 | Forschungszentrum Jülich GmbH | 📖 162 |
| 02 W 6232 | Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen | Forschungszentrum Jülich GmbH | 📖 164 |
| 02 W 6243 | Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen | Forschungszentrum Jülich GmbH | 📖 166 |

2 Formalisierte Zwischenberichte

2.1 E-Vorhaben

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9148
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransports		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.1998 bis 31.12.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.415.450,73 EUR	Projektleiter: Dr. Fein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist in folgende Arbeitspakete unterteilt:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Entwicklungsarbeiten am Programmpaket r^3t wurden ebenso wie die Arbeiten an der graphische Eingabedatei in Java abgeschlossen. Der Abschlussbericht " r^3t - A Program Suite to Model Transport and Retention in Porous Media" (GRS-192), sowie das zugehörige Handbuch "User's Manual" und die Testfallbibliothek "Test Case Library" wurden bis auf redaktionelle Restarbeiten fertig gestellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Vorhaben endete mit Ende des Berichtszeitraumes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Dimitrova Micha, J.: Transport of nonlinearly adsorbing solutes in heterogeneous porous media. Diss. ETH No. 15171, 2003.

Lampe, M.: Using MPPs for on-line visualisation of Large Scientific Simulations. USNCCM, Albuquerque, USA, July 2003.

Geiser, J.: Discretisation methods for convection-diffusion-reaction equations and applications done with the parallel-tool r^3t . Parallel Adaptive Computing, Hohenwart, Gemany, November 2003.

Geiser, J.: Diskretisierungsverfahren für Systeme von Konvektions-Diffusions-Dispersions-Reaktionsgleichungen und ihre Anwendungen. Dissertation Uni Heidelberg, 2004.

Lampe, M.: Parallele Visualisierung - Ein Vergleich. Dissertation Uni Heidelberg, 2004

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9178	
Vorhabensbezeichnung: Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.1999 bis 30.09.2003		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 30.09.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 771.126,32 EUR		Projektleiter: Dr. Buhmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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 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.

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 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 und Ergebnisse

AS1: Dokumentation der Ergebnisse. Die Dokumentation wurde in den Abschlussbericht übernommen.

AS3: Dokumentation der Ergebnisse. Die Dokumentation wurde in den Abschlussbericht übernommen.

AS5: Dokumentation der Ergebnisse. Die Dokumentation wurde in den Abschlussbericht übernommen.

AS8: Die Abschlussdokumentation wurde im Entwurf als GRS-Bericht erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine. Das Vorhaben ist abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Rübel, A.; Becker, A.; Storck, R.: Model calculations and assessment of the importance of the colloidal based radionuclide transport in a waste repository in granite. Eurosafe, Paris 2003.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9198	
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel (Phase V)			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.1998 bis 30.06.2005		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 854.131,00 EUR		Projektleiter: Dr. Jockwer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In den Projektsitzungen im Juli 2003 bei der NAGRA in Wettingen (Schweiz) und im November 2003 bei OBAYASHI in Tokio(Japan) wurde das Messkonzept der GRS zur Ermittlung der Gasmigration im Silobauwerk vorgestellt. Nach eingehender Diskussion fand dieses Konzept allgemeine Zustimmung. Hiernach soll am 08. Januar 2004 mit der Injektion von Tracergasen ins Silo begonnen werden und über 3 Monate andauern. Während dieser Zeit sollen in den Probennehmern, die in den verschiedenen Bauwerkskomponenten eingebaut worden sind, Gasproben entnommen und hinsichtlich der Tracergase analysiert werden. Das hierfür notwendige Analysesystem bestehend aus einem Gaschromatographen mit dem Versorgungssystem, der Probenahmepumpe und der Aufgabevorrichtung ist im Dezember 2003 im Versuchsfeld aufgebaut und getestet worden. Das System arbeitet zufrieden stellend.

Die Labormessungen zur Ermittlung der hydraulischen Parameter der verschiedenen Baustoffe wurden fortgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Ermittlung der Tracergasmigration im Versuchsfeld.
- Weiterführung der Labormessungen zur Ermittlung der hydraulischen Parameter der verschiedenen Baustoffe.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9239
Vorhabensbezeichnung: Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2000 bis 30.06.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.692.749,45 EUR	Projektleiter: Dr. Brewitz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

TA 1: Bearbeitung grundlegender Aspekte:

- Verfolgung und Bewertung internationaler Entwicklungen zu offenen Fragen bei Langzeitsicherheitsnachweisen und Einbringung nationaler Interessen in internationale Aktivitäten.
- Auswertung neuer wissenschaftlicher Ergebnisse und Erarbeitung aktualisierter Modelle und Daten zur Verwendung in Instrumentarien für Langzeitsicherheitsanalysen.
- Erarbeitung wissenschaftlicher Stellungnahmen zu grundsätzlichen methodischen Vorgehensweisen in der Langzeitsicherheitsanalyse, wie zur Verwendung geeigneter Sicherheitsindikatoren oder zur Leistungsfähigkeit probabilistischer bzw. deterministischer Sicherheitsanalysen.

TA 2: Detaillierte Arbeiten zu ausgewählten Einzelthemen:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- TA 1:- Teilnahme am EU- Workshop „Impact of the Excavation Disturbed Zone (EDZ) on the performance of radioactive waste geological repositories“.
- Teilnahme am „Workshop on C-14 Release and Transport in Repository Environments“ der NAGRA.
 - Teilnahme an den Konferenzen Migration '03 und „Natural and Manmade Repositories, Paradigm for radioactive waste policy“ (WONUC).
 - Weiterverfolgung des Projekts CROP und Auswertung der resultierenden Konsequenzen für die nationale Forschung in Untertagelabors. Dokumentation der Arbeiten.
 - Mitarbeit bei dem NEA-Review zur Sicherheitsstudie OPALINUS 2000 der NAGRA zu den Schwerpunktthemen Endlagerkonzept, Szenarien, Gasfreisetzung und Transportmodellierung. Der Review-Bericht wird im ersten Quartal 2004 vorliegen.
 - Grundlegende Arbeiten zum Thema Auswirkungen von Gasen im Endlager: Durchführung von Modellrechnungen für Prinzipmodelle repräsentativ für unterschiedliche Endlagertypen in unterschiedlichen Formationen. Ein Bericht liegt im Entwurf vor.
 - Sichtung/Bewertung internationaler Arbeiten zur Berücksichtigung der Auswirkungen klimatischer Änderungen in Biosphären- und Geosphärenmodellen für Sicherheitsanalysen. Teilnahme an der Abschlussveranstaltung zu den EU-Projekten BIOCLIM und BIOMOSA.
 - Zusammenstellung und Bewertung der aktuellen Arbeiten zum Thema Aufsättigung von Bentonit. Identifikation von offenen Fragen und Vorschläge zu weiterführenden Projekten.
 - Teilnahme an der Sitzung des Arbeitskreises (BfS, BGR, DBE, FZK/INE, GRS) zum Thema Szenarienanalysen. Diskussion des aktuellen Statusberichts.
- TA 2:- Sichtung und Zusammenstellung verfügbarer Daten zur Modellierung der Grundwasserbewegung und des Schadstofftransports über lange Zeiträume an nationalen und internationalen Standorten.
- Teilnahme an den nächsten Arbeitssitzungen zum EU-Projekt NANet. Durchführung von kritischen Reviews zu ausgewählten Studien über Natürliche Analoga.

4. Geplante Weiterarbeiten

- TA 1:- Teilnahme an der RWMC-Sitzung.
- Sichtung/Bewertung nationaler und internationaler Arbeiten zur Berücksichtigung der Auswirkungen klimatischer Änderungen in Biosphären- und Geosphärenmodellen für Sicherheitsanalysen.
 - Teilnahme an einem Meeting bei SKB zur Einrichtung einer Arbeitsgruppe für die THM-Modellierung.
 - Anfertigung des Abschlussberichts.
- TA 2:- Detaillierte Beschreibung der Standorte an denen eine Modellierung von Grundwasser- und Schadstoffbewegung über lange Zeiträume möglich ist.
- Teilnahme an der nächsten Arbeitssitzung und am Workshop zum EU-Projekt NANet. Durchführung von kritischen Reviews zu ausgewählten Studien über Natürliche Analoga.
 - Anfertigung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9249	
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt des Nachweises der Betriebssicherheit in einem Endlager			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2000 bis 30.09.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.005.489,00 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Testmessungen faseroptischer Sensoren im Endlager Morsleben und im Felslabor Grimsel wurden fortgeführt.

Erstellt wurde ein ausführlicher Zwischenbericht über die bisher erzielten Ergebnisse. Dieser Bericht dient als Grundlage für den Abschlussbericht, der sich in drei Teile gliedert:

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

Im Rahmen des Vorhabens konnte erstmalig ein Dokument zur Standardisierung und Qualifizierung faseroptischer Mess-Systeme für Überwachungsaufgaben erstellt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Testmessungen im Felslabor Grimsel sollen bis zum Ende des GMT (Gas Migration Test) Versuches fortgeführt werden. Anschließend ist geplant, die eingebaute Sensorik rückzuholen und im Labor einer eingehenden Nachanalyse zu unterziehen.

Die Testmessungen im Endlager Morsleben sollen bis zum Ende des Vorhabens fort geführt werden. Auch hier ist eine Rückholung und Nachanalyse des gesamten Mess-Systems geplant.

Im nachfolgenden Berichtszeitraum soll der dreiteilige Abschlussbericht im Entwurf fertig gestellt werden, so dass zum Ende des Vorhabens die endgültige, von allen Beteiligten geprüfte, Version vorgelegt werden kann.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9279	
Vorhabensbezeichnung: Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2000 bis 29.02.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 578.684,14 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Rothfuchs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP 2: Laborversuche zur Ermittlung der Resistivität (bzw. Leitfähigkeit) von Bentonitproben in Abhängigkeit vom Wassergehalt bzw. der Salinität des Porenfluids

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1: Die Messungen im Backfill in der Section I laufen seit Oktober 2001. Die Anfangsresistivität lag bei 10 – 14 Ωm , was einem Wassergehalt von 13 – 14 % entspricht. Im Beobachtungszeitraum bis November 2003 hat sich die Resistivitätsverteilung deutlich vergleichmäßigt. Die registrierten Werte liegen in einem engen Band zwischen 3-5 Ωm , was einem aktuellen Wassergehalt von etwa 20 % entspricht. Es wird erwartet, dass die Wasseraufnahme bis maximal 33 % möglicherweise noch mehrere Jahre andauern wird.

Die Messungen im Backfill der Section II laufen seit Juni 2003 und zeigen einen deutlich höheren Anfangswassergehalt als in Section I. Bereits während der Installation des Messarrays wurden deutliche Wasserzutritte am Streckenrand beobachtet. Die gemessenen Resistivitäten liegen zwischen 3 Ωm am Streckenrand und 5-8 Ωm in der Streckenmitte, was einem Wassergehalt von 15 - 18 % entspricht.

Die Messungen im Buffer wurden im Mai 2003 begonnen und zeigen anfangs die erwartete hohe Gebirgsresistivität größer 10000 Ωm am Bohrlochrand. Im Buffer wird zunächst aufgrund der Verfüllung der Messbohrlocher mit trockenem Bentonitpuder eine relativ hohe Resistivität von etwa 80 Ωm gemessen. Diese nimmt dann jedoch mit der beginnenden Aufheizung und Wasseraufnahme deutlich auf Werte von 4 - 24 Ωm ab. Angaben zum Wassergehalt können erst nach genauerer Auswertung des lokalen Temperaturanstiegs gemacht werden.

Die Resistivitätsverteilungen entlang der Messketten im Gebirge ähneln einander sehr und änderten sich bis April 2003 kaum. Die Gebirgsresistivität zeigt charakteristische Werte zwischen 2000 und 7000 Ωm . Nach der Installation des Buffers im Bohrloch 5 sinkt die Resistivität leicht ab, was auf die Beendigung des Abpumpens des Formationswassers aus dem Bohrloch und die damit verbundene Aufstauung von Formationswasser in Bohrlochnähe zurückgeführt wird. Die erwartete Entsättigung des Gebirges nach Einbau des Buffers wurde bisher nicht beobachtet.

AP 2: keine

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Weiterführung und regelmäßige Auswertung der Messungen in Backfill, Buffer und Gebirge.

AP 2: Zur Absicherung der In-situ-Ergebnisse soll in der folgenden Projektphase ein Laborversuch zur Aufsättigung von Bentonit durchgeführt werden, bei dem geoelektrische Tomogramme direkt mit bekannten Feuchteverteilungen verglichen werden. Neben der Erhöhung des Vertrauens in die Ergebnisse dient dieser Versuch auch dem Test einer seit kurzem bei GRS verfügbaren dreidimensionalen Auswertesoftware.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Wieczorek, K., Rothfuchs, T., 2003: "Measurements of Water Uptake in the Buffer and the Backfill of the Äspö Prototype Repository Using the Geoelectric Method", Proc. Symposium on Large Scale Field tests in Granite, Sitges, Spain, November 12-14, 2003.

Zuwendungsempfänger: TU-BAF, Akademiestraße 6, 09596 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 E 9330
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2000 bis 31.08.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.08.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 186.611,31 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Voigt	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die TU Bergakademie Freiberg bearbeitet folgende Teilthemen:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Weiterführung und Auswertung der Versuche zur Untersuchung der Einflüsse von Druck u. Temperatur auf Umlöseprozesse an durchströmten Kapillaren im NaCl-Einkristall und in mit NaCl gefüllten PEEK-Kapillaren
- Abschließende Auswertung und Abschlussbericht

4. Geplante Weiterarbeiten

keine

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: BUTEC Umwelttechnik GmbH, Düsseldorf Straße 32-34, 65760 Eschborn		Förderkennzeichen: 02 E 9340
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2000 bis 31.07.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.07.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 883.460,67 EUR	Projektleiter: Dipl.-Ing. Fröhlich	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

Durchführung als Kooperationsvorhaben mit der TU Bergakademie in Freiberg.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Abschluss der Auswertung der Porenstrukturanalysen
- Die Porenstrukturanalysen bestätigten die aus den Permeabilitätsuntersuchungen vermutete grundlegende Änderung der Porenstruktur der Salzmatrix infolge des Durchströmens mit Lauge
- Erstellung des Abschlussberichtes

4. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss des Vorhabens im Juli 2003

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: TU München, Arcisstraße 21, 80290 München		Förderkennzeichen: 02 E 9360
Vorhabensbezeichnung: Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2000 bis 31.10.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.10.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 532.152,59 EUR	Projektleiter: 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 und Ergebnisse

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

In diesem Vorhabenszeitraum wurden folgende zwei Schwerpunkte innerhalb der Arbeitspakete I, II, III weiter bearbeitet und mit bereits erreichten Ergebnissen im Zusammenhang gebracht:

1. Actinide im kolloidalen Zustand durch Bindung an Aluminosilicat-Kolloiden

Aluminosilicat-Kolloide wurden durch Conukleation von Si und Al unter optimalen Bedingungen von pH, Konzentration von Al und Si (Si-Monomere und Si-Oligomere) sowie Reaktionszeit, synthetisiert mit dem Ziel, die Actinid-Kolloid-Wechselwirkung zu untersuchen. Dabei wurden drei- und vierwertige Actinide (z.B. Am-241, Th-234) in Tracermengen sowohl während des Kolloidentstehungsprozesses (Kolloide in statu nascendi) als auch danach (veraltete Kolloide) eingesetzt, um den Einfluss der natürlichen Kolloidentstehungswege, nämlich Nukleation und Dispersion, auf die eventuelle Actinid-Inkorporation zu erfassen. Weitere Einflussparameter wie die Konzentration von den stets in natürlichen Aquifersystemen vorhandenen Ca und Mg wurden unter Zugabe von Ca-45 als Tracer analysiert. Die Stabilität der entsprechenden Pseudokolloide wurde in Desorptionsexperimenten, die unterschiedliche Migrationsszenarien entsprechen, geprüft. Die maximale Kapazität der Aluminosilicat-Kolloide zur Überführung der Actinide in der kolloidalen Phase wurde ermittelt.

Es wurde nachgewiesen, dass eine irreversible Inkorporation von Actiniden in den Kolloiden stattfindet. Es variiert lediglich das Ausmaß des Actinideinbaus in Abhängigkeit von folgenden untersuchten Parametern:

(1) Actinid-Oxidationsstufe: Die Actinid-Inkorporation in Aluminosilicat-Kolloiden ist generell höher und stabiler bei vierwertigen Actiniden: Th(IV) > Am(III)

- (2) Si-Species in der Mutterlösung: Aluminosilicat-Kolloide, die auf der Basis von Si-Oli-gomeren gebildet werden, haben eine sehr viel größere Affinität für Actiniden als solche die aus Si-Monomeren stammen.
- (3) pH: Die Actinid-Inkorporation steigt mit zunehmendem pH (maximal bei pH 8-9)
- (4) Zeitpunkt der Actinid-Zugabe: Inkorporation von Am(III) erfolgt nur während der Bildung von Aluminosilicat-Kolloiden durch Nukleation, und nicht mehr nachträglich, z. B. in Kolloiden die durch Dispersion entstanden sind. Inkorporation von Th(IV) dagegen, erfolgt sowohl bei der Kolloidentstehung durch Nukleation als auch danach, z. B. in bereits gealterten Kolloiden.
- (5) Konzentration von Ca^{2+} , Mg^{2+} : Der Actinideinbau in Aluminosilicat-Kolloiden wird durch die Zugabe von divalenten Kationen in umweltrelevanten Konzentrationen ($< 10^{-3}$ M) nicht beeinträchtigt.
- (6) Actinid-Konzentration: der Ersatz von Al und Si in Aluminosilicat-Kolloiden durch drei- bzw. vierwertige Actinide kann nur solange erfolgen bis die Existenz der Kolloide gefährdet ist. Ein Maß für die maximale Inkorporationskapazität, sowohl für drei- als auch für vierwertige Actinide, ist die Al-Konzentration in der Mutterlösung bzw. im natürlichen Aquifersystem.

2. Actinide in kolloidalem Zustand durch Eigenkolloidbildung

Am(III) und Th(IV) wurden sowohl einzeln als auch in verschiedenen (Am+Th)-Kombinationen, in Abhängigkeit von der Konzentration, vom pH, von der Zugabe von Ca oder Mg, und von der Reaktionszeit, auf Eigenkolloidbildung geprüft. In einem Screeningexperiment wurden optimale Kolloidbildungsbedingungen anhand von radiometrischen Methoden und Ultrafiltration ermittelt. Unter diesen Bedingungen wurde die Kolloidbildung ebenfalls mit der Laser Induced Breakdown Detection (LIBD) in ultrareinen Systemen nachgewiesen. Die chemischen Bindungszustände der dreiwertigen Actinide in der kolloidalen Phase wurden mittels der Zeit-aufgelösten-Laser-Fluoreszenz-Spektroskopie (TRLFS) unter Einsatz von Cm charakterisiert.

Es wurde gezeigt unter welchen Bedingungen, Am bzw. Th Eigenkolloide bilden. Weiter wurde nachgewiesen, dass unter Bedingungen, die keine Eigenkolloidbildung von Am bzw. Th erlauben, z. B. aus dem Präzipitat, eine Copolymerisation von Am mit Th stattfinden kann, die zu einer Stabilisierung von (Am+Th)-Kolloiden führt. Wir postulieren, dass eine heterogene Nukleation auf der Basis von Elementen unterschiedlicher Oxidationsstufe für die Kolloidbildung von anorganischen Elementen allgemein, und für Actinide insbesondere, notwendig ist. Im Falle der beobachteten Eigenkolloidbildung von Am bzw. Th allein, sind vermutlich ubiquitäre Systemunreinheiten im Spiel, die sich bei den geringen Löslichkeiten von Actiniden bemerkbar machen, und die zur Kolloidstabilisierung beitragen können.

4. Geplante Weiterarbeiten

Folgende Arbeiten innerhalb der Arbeitspakete I, II und III des Fortsetzungsvorhabens sind geplant:

AP(I) und AP(II):

- Vergleichende Untersuchungen über die Möglichkeit der Inkorporation von drei-, vier-, fünf- und sechswertigen Actiniden bzw. Eigenkolloiden (Am(III), (Cm(III), Th(IV), Pu(IV), Np(V), U(VI) in Aluminosilicat-Kolloiden
- Fortsetzung der Untersuchung des Einflusses von begleitenden Grundwasserbestandteilen wie Ca^{2+} , $\text{Fe}^{2+/3+}$, Huminsäure, etc. auf die Bildung und Stabilität von Aluminosilicat-Kolloiden bzw. auf deren Wechselwirkung mit drei-, vier-, fünf- und sechswertigen Actiniden

AP(III):

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

Liste der Veröffentlichungen siehe FKZ: 02 E 9763

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9390	
Vorhabensbezeichnung: 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			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2000 bis 29.02.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 197.193,26 EUR		Projektleiter: 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 von der EU 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 und Ergebnisse

Das Abschlussbauwerk an Erhitzer 2 mit den Kapillardurchführungen ist erstellt worden. Die Kapillarleitungen von den im Bentonitversatz installierten Filterrohren sind an die Ventilstation in der Zugangsstrecke angeschlossen worden. Die Gas- und Wasserporendrücke werden auf einer Datenerfassungsanlage aufgezeichnet. Über die Filterrohre wurden Gasproben aus dem aufgeheizten Versatz entnommen und analysiert.

Im Porenraum des Versatzes gab es bisher noch keinen signifikanten Druckanstieg infolge des Zutritts von Formationswasser und infolge der Gasentwicklung. Die Analysen der entnommenen Gasproben ergaben bereits nach 3 Monaten für die Komponenten Wasserstoff und Helium wesentlich höhere Konzentrationen, für Kohlenwasserstoffe und Kohlendioxid vergleichbare und für Sauerstoff geringere Konzentrationen als am Erhitzer 1 nach 5 Jahren Versuchsdauer. Daraus kann gefolgert werden, dass das neu erstellte Abschlussbauwerk mit den verbesserten Durchführungen eine geringere Gasdurchlässigkeit als das Abschlussbauwerk am Erhitzer 1 hat.

4. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der Messungen zur Gasfreisetzung aus dem aufgeheizten Bentonitversatz.

Messungen zur Permeabilität des aufgeheizten Bentonitversatzes.

Analyse und Auswertung der Labormessungen zur Gasfreisetzung aus dem Bentonit für die Expositionszeit von 1000 Tagen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jockwer, N.: Experimental Studies on Gas Migration in Underground Rock Laboratories in Granitic and Argillaceous Rocks, EUROSAFE 2003, Paris, 25.-26. November 2003, Seminarheft 3 pp 55-67.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9400
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung im Boom Clay in Mol im Projekt: "Integrated in Situ Corrosion Test on Alpha-Active High Level Waste Glass - Phase 2" CORALUS 2		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2000 bis 31.03.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 274.956,85 EUR	Projektleiter: Dr. Jockwer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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 und Ergebnisse

Die drei Versuche CORALUS Test Tube 2 (30 °C, ohne ^{60}Co -Quelle), CORALUS Test Tube 3 (90 °C, mit ^{60}Co -Quelle) und CORALUS Test Tube 4 (90 °C, mit ^{60}Co -Quelle) laufen nach anfänglicher Verzögerung infolge sehr langsamer Aufsättigung wie geplant. Aus dem Versatz sind Wasserproben zur Bestimmung der darin gelösten Gase entnommen worden. Es wurden hauptsächlich Kohlendioxid und geringe Mengen Methan nachgewiesen. Im Test Tube 2 hat sich in den verschiedenen Versatzmaterialien mit 100 bis 200 Liter CO_2 pro 1000 kg Wasser offensichtlich ein Gleichgewicht eingestellt. In den Tests Tube 3 und 4 liegen die Werte in den verschiedenen Versatzmaterialien mit 200 bis 650 Liter CO_2 pro 1000 kg Wasser wesentlich höher. Hier hat sich bisher noch kein Gleichgewicht eingestellt. Daraus ergibt sich, dass die Kohlendioxidproduktion sehr stark von der Temperatur abhängt. Gleiche Aussage kann für den Gehalt an Methan gemacht werden, nur ist der Gehalt mit 0,5 bis 4,0 Liter pro 1000 kg Wasser nicht sehr bedeutungsvoll.

Im Labor sind die Messungen zur Gasentwicklung an den verschiedenen Versatzmaterialien für die Expositionszeiten bis 1000 Tage abgeschlossen. Eine Auswertung der gesamten Messungen und eine Bewertung muss noch durchgeführt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der In-situ-Untersuchungen zur Gasentwicklung an den Tests Tube 3 und 4.
- Permeabilitätsmessungen in den verschiedenen Versatzkörpern des Tests Tube 2.
- Auswertung und Interpretation der Laboruntersuchungen zur Gasfreisetzung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9420	
Vorhabensbezeichnung: Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Callovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2000 bis 30.09.2003		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 30.09.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 90.307,97 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Rothfuchs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

Das Vorhaben wird von der Europäischen Union gefördert.

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 und Ergebnisse

Wegen der Verzögerungen beim Schachtabteufen in Bure wurde von den Projektpartnern gemeinschaftlich beschlossen, das EU-Projekt ab 1. April 2003 für ca. 2 Jahre zu unterbrechen. Die GRS-Laboruntersuchungen sind hiervon nicht mehr betroffen, da sie bereits planmäßig Ende 2002 erfolgreich beendet wurden.

Der Abschlussbericht ist gedruckt und verteilt.

Im zweiten Halbjahr 2003 wurden keine weiteren Projektarbeiten durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

keine

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9430	
Vorhabensbezeichnung: Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin, Mitarbeit in der Task Force "EBS" des HRL Äspö			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2000 bis 30.09.2003		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 30.09.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 541.424,40 EUR		Projektleiter: Dr. Kröhn	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Modellrechnungen

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

Laboruntersuchungen

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Versuchsreihe zur drucklosen Aufsättigung mit Wasserdampf wurde abgeschlossen. Die Daten der Versuche wurden ausgewertet und ein Vergleich mit den Ergebnissen des Dampfdiffusionsmodells durchgeführt. Die Ergebnisse aus Experiment und Modellrechnung lassen die Sinnfälligkeit des Ansatzes erkennen. Die Abweichungen legen allerdings die Vermutung nahe, dass nicht alle relevanten Prozesse im Dampfdiffusionsmodell erfasst sind.

Erstellung des Abschlussberichts in englischer Sprache.

4. Geplante Weiterarbeiten

keine

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9440	
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2000 bis 29.02.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 571.747,03 EUR		Projektleiter: Dr. Herbert	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mittelschwere anionisch vorliegende Radionuklide wie ^{14}C (als CO_3^{2-}), ^{129}I (als I^-), ^{79}Se (als SeO_3^{2-} oder SeO_4^{2-}) und ^{99}Tc (als TcO_3^- und 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 und Ergebnisse

Isopiestic Messungen in den Systemen Na,K,Mg – Cl,SO₄,SeO₃ – H₂O. Messungen in den Systemen Na,K,Mg – Cl,SO₄,SeO₄ – H₂O. Titrationsversuche mit Hydrogenseleniten.

Fast alle Selenit enthaltenen Systeme verhalten sich annähernd nach den Regeln von Zdanovski. Die Anzahl der bisher durchgeführten Messungen reicht zur Berechnung von Pitzer-Parametern aus. Bei selenat-haltigen Systemen wurden Abweichungen zu Angaben in der Fachliteratur gefunden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Beendigung der Titrationsversuche mit Hydrogenseleniten. Auswertung der letzten Versuche und Erstellung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: TU München, Arcisstraße 21, 80290 München		Förderkennzeichen: 02 E 9450
Vorhabensbezeichnung: Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2000 bis 31.12.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 538.255,88 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Rösch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst folgende Arbeitspakete:

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

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

In AP 3 werden projektspezifische Ergänzungen am Programmpaket PARAGAUSS durchgeführt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1.1: Uranyltricarbonat $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$

AP 1.2: Uranylcarbonat-Dimere $(\text{UO}_2)_2\text{CO}_3(\text{OH})_3^-$

AP 1.4: Triuranyltricarbonat $(\text{UO}_2)_3(\text{CO}_3)_6^{6-}$

AP 2.1: Hydroxylierte Oberfläche von Al_2O_3

AP 3.5: Wasseradsorption und hydroxylierte Oberfläche von Al_2O_3 , Parametrisierung

In AP1 wurden Berechnungen zum Uranyltricarbonat $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ abgeschlossen (AP 1.1). Ein Vergleich der früheren Ergebnisse in der Gasphase mit Berechnungen unter Verwendung eines Solvatationsmodells (PCM) unter Verwendung eines polarisierbaren Kontinuums zeigt einerseits, dass es wichtig ist, Wassermoleküle als Liganden explizit quantenmechanisch zu

beschreiben. Andererseits werden langreichweitige Solvatationseffekte bei hohen Anionenladungen (hier 4-) durch das PCM-Modell überschätzt. Zum solvatisierten Trimer $(\text{UO}_2)_3(\text{CO}_3)_6^{6-}$ wurden analoge Berechnungen durchgeführt (AP 1.4). Auch hier zeigt sich bei Berücksichtigung expliziter Aqua-Liganden eine verbesserte Übereinstimmung von Struktur und Uranyl-schwingungsfrequenz mit den experimentellen Daten. Weiterhin konnten Hinweise bestätigt werden, dass diese Spezies nicht sehr stabil gegen den Zerfall in einkernige Uranylcarbonatkomplexe ist.

Zu den verschiedenen Isomeren des Uranylcarbonat-Dimerkomplexes $(\text{UO}_2)_2\text{CO}_3(\text{OH})_3^-$ wurden PCM-Berechnungen fertig gestellt (AP 1.2). Dabei wurden Symmetriebeschränkungen in den Modellen aufgehoben, so dass verschiedene Orientierungen der OH-Gruppen untersucht werden konnten. Dies hatte keinen Einfluss auf die energetische Reihenfolge der Isomere; jedoch verringerten sich die energetischen Unterschiede soweit, dass in Übereinstimmung mit experimentellen Hinweisen vom gleichzeitigen Vorkommen mehrerer Isomere auszugehen ist.

Die Arbeiten zur Modellierung der hydroxylierten (0001)-Oberfläche von Al_2O_3 wurden fortgeführt (AP 3.5). Für die Adsorption einzelner Wassermoleküle auf der reinen Al_2O_3 -Oberfläche wurden frühere Berechnungen bestätigt. In Übereinstimmung mit Ergebnissen für periodische Modelle wird eine dissoziative Adsorption bevorzugt, wobei die Bruchstücke H und OH benachbart bleiben. Eine Adsorption an entfernteren Plätzen ist ungünstiger als die assoziative Adsorption. Diese Ergebnisse bestätigen die Genauigkeit der verwendeten EPE-Einbettungsmethode.

Wie geplant wurden periodische Superzell-Berechnungen zur Struktur der vollständig hydroxylierten Oberfläche Al_2O_3 -(0001) durchgeführt (AP 2.1). Übereinstimmend mit Ergebnissen aus Rechnungen auf der Grundlage der Car-Parrinello-Molekulardynamik wurde eine Struktur erhalten, bei der 1/3 der terminierenden OH-Gruppen parallel zur Oberfläche liegen. Der Vergleich mit aufrecht stehenden OH-Gruppen liefert eine Stabilisierungsenergie von 9 kcal/mol OH-Gruppen. Weiterhin konnte die experimentell bekannte Relaxation des Substrates bestätigt werden, was in früheren Kraftfeldberechnungen anderer Gruppen nicht gelungen war. Diese Ergebnisse werden derzeit verwendet, um ein Kraftfeld zu generieren, das sich im EPE-Verfahren zur Clustereinbettung anwenden lässt (AP 3.5), um dann die Adsorption von Uranyl zu untersuchen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt ist mit diesem Bericht abgeschlossen. Arbeiten zur Uranyl-Adsorption auf Aluminiumoxid werden mit anderen Mitteln abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

F. Schlosser, S. Krüger, N. Rösch: Relativistic Density Functional Study of the Dinuclear Uranyl Complex $(\text{UO}_2)_2(\mu_2\text{-OH})_2\text{Cl}_2(\text{H}_2\text{O})_4$ in Its Crystalline Environment, *Eur. J. Inorg. Chem.* 3144-3151 (2003).

L. V. Moskaleva, S. Krüger, A. Spörl, N. Rösch: The Role of Solvation in the Reduction of the Uranyl Dication by Water: a Density Functional Study, *Inorg. Chem.*, eingereicht.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 9461
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung der chemischen und hydromechanischen Wechselwirkungen von Ton/Zement-Systemen; ECOCLAY - Phase II	
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2001 bis 31.12.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 509.859,24 EUR	Projektleiter: Dr. Meyer

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

(AP1) Vorlaufende Arbeiten, Literaturstudie

Systematische Literaturrecherche zum Thema Ton-Zement-Wechselwirkungen

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

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

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

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

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

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

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In dem Forschungsprojekt ECOCLAY II wurden zunächst die Kaskadenversuche zur Aufklärung des chemischen Reaktionspfades zwischen zementhaltigen Materialien und den Lösungen IP21 bzw. gesättigter NaCl-Lösung durchgeführt. Es wurden Durchströmungsversuche mit einmaligem Austausch der Porenlösung durchgeführt bei denen nach Zeiträumen von 50, 100 und 150 Tagen die resultierende Lösungszusammensetzung untersucht worden ist. Es erfolgte die Bestimmung der Permeabilitäten an diesen Proben nach dem Gesetz von Darcy. Für die Untersuchung der mechanischen Eigenschaften wurden einaxiale Festigkeiten der Probekörper vor und nach erfolgter Reaktion gemessen. Im AP5 erfolgte die Modellierung der Ergebnisse der Umsetzung von Magnesiabinder und Salzbeton in NaCl- und IP21-Lösung. Die bestehende Datenbasis wurde um log k-Werte von Zementphasen erweitert, die in die Datenbasis implementiert wurden.

Mit ausgewählten Korrosionslösungen wurden mit MX-80 in einer Quelldruckapparatur zum Quellen gebracht und die Quelldrücke nach dem Ablassen des Lösungsdrucks gemessen. Die Versuche wurden mit einem kompaktierten Bentonit mit einer Rohdichte von $1,6 \text{ g/cm}^3$

Die Ergebnisse zeigten, dass der Quelldruck für die Reaktion von MX-80 mit der Reaktionslösung des Systems Magnesiabinder/NaCl-Lösung bei ca. 10 MPa liegt, das entspricht einem Quelldruck, der unter den gleichen Bedingungen für reine NaCl-Lösung bzw. das System Salzbeton/NaCl-Lösung beobachtet wird. Der Vergleich der Quelldrücke mit Quelldruckversuchen von MX-80 im Kontakt mit jungem Zementporenwasser (ca. 20 MPa) zeigt einen deutlich geringeren Quelldruck. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen, die aufgrund reduzierter Wasseraufnahme des Bentonits eine Reduzierung des Quelldrucks erwarten ließen, konnte gezeigt werden, dass auch im Kontakt mit alkalischer Lösung ein Quellen des Abdichtmaterials Bentonit (MX-80) zu erwarten ist.

Die Arbeiten wurden in diesem Halbjahr abgeschlossen und es erfolgt die abschließende Bewertung der erhaltenen Ergebnisse, die in dem Abschlussbericht ausführlich dargestellt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Es erfolgt die Fertigstellung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 9471
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2001 bis 31.03.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 157.669,63 EUR	Projektleiter: Dr. Brendler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Literaturrecherche	Fortsetzung	wird fortgesetzt
Eingabe von Sorptionsdaten	Fortsetzung	wird fortgesetzt
Eingabe von Methoden + Modelle	Fortsetzung	wird fortgesetzt
AP3: Datenexport	Fortsetzung	beendet
AP4: Datenumrechnung	Fortsetzung	beendet
Umformung von Reaktionen	begonnen	wird fortgesetzt
AP5: Netzwerkzugriff (Intranet)	Fortsetzung	beendet
AP6: Online-Hilfe + Manual	Fortsetzung	wird fortgesetzt

Im Berichtszeitraum (Werte in Klammern: Gesamtstand) wurden 9(100) Minerale, 188(713) Datensätze zu spezifischen Oberflächen, 168(794) Protolyse- und 426(2182) Komplexbildungskonstanten neu in der DB erfasst. Die Recherche läuft kontinuierlich weiter, bisher sind 1246 Literaturreferenzen erfasst.

Die DB wurde um folgende Features ergänzt: Charakterisierung der Probenherkunft, automatisiertes Backup, Export im MySQL-Format zur Nutzung mit anderer, freier Datenbanksoftware, Erfassung der Programmcodes oder adäquater Tools zur Parametergenerierung. Darauf aufbauend erfolgte eine Analyse und Bewertung der am häufigsten eingesetzten Software FI-TEQL, mit Hinweisen zu Fehlermöglichkeiten und Limitationen.

Praktische Anwendung fand die DB bei der Entwicklung einer Strategie zur Parametergewinnung für SCM-Ansätze unter Nutzung der zuvor erarbeiteten Bewertungskriterien für Einzeldaten und Datensätze. Blind Prediction Modellierungen im Vergleich mit experimentellen K_D -Werten wurden durchgeführt (siehe Veröffentlichungen unter Punkt 5), welche die Praxistauglichkeit des SCM-Ansatzes in verschiedenen Bereichen demonstrierte.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Literaturrecherche, Dateneingabe und Aufbau „Knowledge-Base“
AP3: Export von Datensätzen für komplexe Szenarien in separate Speziationssoftware
AP4: Erstellung von Stöchiometriematrizen für Oberflächenreaktionen
AP5: Vorbereitung einer Portierung in eine Internetfähige Version
AP6: Online-Hilfe, gedrucktes Manual

5. Berichte, Veröffentlichungen

- V. Brendler, A. Richter, Th. Arnold, G. Bernhard: „Capability of Surface Complexation Models and Databases for Predicting Radionuclide Sorption“, Migration 2003 Conference, Gyeongju, Südkorea, 21.-26.9.2003
- A. Richter, V. Brendler, G. Bernhard: “The mineral-specific thermodynamic sorption database RES³T: Concept description, implementation, and application towards contaminated systems.” Goldschmidt Conference 2003, Kurashiki, Japan, 7.-12.9.2003

Abstracts der beiden genannten Vorträge sind diesem Schreiben beigelegt.

Zuwendungsempfänger: Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover		Förderkennzeichen: 02 E 9481
Vorhabensbezeichnung: Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2001 bis 31.05.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 280.063,20 EUR		Projektleiter: Prof. Dr. Michel

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Übergreifendes Ziel dieses Vorhabens ist es, Tone, die als Material für geotechnische Barrieren von Endlagern vorgesehen sind, mit Hinsicht auf ihre Anionenaustauschkapazität zu verbessern. Diese kann wesentlich angehoben werden, wenn die anorganischen Zwischenschichtkationen des Tons gegen geeignete organische Kationen ausgetauscht werden. Ausgewählte Organo-Ton-Systeme sollen hinsichtlich maximaler Sorptionskapazität für Anionen, maximaler Selektivität für Iodid bzw. Chromat(VI), hoher Stabilität unter simulierbaren Endlager- bzw. UTD-Bedingungen, einfacher und kostengünstiger Herstellung geprüft, bzw. optimiert werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP 3: Prüfung ausgewählter Organoton-Systeme bezüglich ihrer Sorptionskapazität
- AP 4: Strukturelle Charakterisierung des Zwischenschichttraumes der Organotone
- AP 6: Sorptionsversuche mit Chromat(VI) in Abhängigkeit vom pH-Wert
- AP 7: Versuche zur Sorption von Iod an Organotonen bei Temperaturen von 20-90°C
- AP 8: Thermische Stabilität von Organotonen
- AP 9: Chemische Stabilität im salinaren Milieu

AP 3: Zwei weitere organische Kationen wurden in Verbindung mit MX-80-Bentonit und Vermiculit hinsichtlich ihrer Sorptionsfähigkeit getestet: Octadecyltrimethylammonium (ODTMA) und Tetraphenylphosphonium (TPP). Die sorbierten Iodmengen lagen insgesamt etwas unter denen der anderen Or-

ganotone, wobei die ODTMA- und TPP-Smectite bessere Sorptionseigenschaften aufwiesen als die entsprechenden Vermiculite.

AP 4: ODTMA- und TPP-Tone werden bevorzugt von Smectiten adsorbiert. Bei Untersuchung im Partikelladungsdetektor zeigte sich, dass die äußere Oberflächenladung von BPyDD- und TPP-Smectite und -Vermiculiten nahe dem Ladungsnullpunkt liegt, d.h. dass für diese Organotone die Anionenbindung fast ausschließlich in stabilen Bindungspositionen im Zwischenschichtraum erfolgt. Für HDPy-, HDTMA- und BE-Tonminerale wurde eine Zunahme der positiven Ladungsmenge an den äußeren Oberflächen in Abhängigkeit von der Größe der spezifischen Oberfläche festgestellt. Wegen seiner geringeren spezifischen Oberfläche erscheint der Bentonit MX 80 für die Adsorption von Anionen im Zwischenschichtraum geeigneter als der Bentonit TP. Vermiculit Russland ist für diese Zwecke ebenfalls gut geeignet.

AP 6: Für die Adsorption von Chromat zeigen die mit HDPy, HDTMA und BE organophilierten Tonminerale, die relativ große Basisnetzebenenabstände aufweisen, die größte Kapazität (0.25-0.43 mol kg⁻¹). Die Sorption von Chromat wurde in Batch-Versuchen bei pH 3, 5 und 9 geprüft. Es konnten signifikante Unterschiede in der Chromatadsorption bei den verschiedenen pH-Werten festgestellt werden. Für alle Organotonkombinationen gleich tritt für pH 9 ein deutlicher Rückgang in der Sorptionskapazität ein. Möglicherweise ist dies auf die Konkurrenz von OH-Ionen zurückzuführen. Besonders hoch ist die Selektivität von HDPy-Montmorillonit.

AP 7: Bei Temperaturen von 20 –90°C während des Sorptionsvorganges konnte für alle Organotone eine leichte Abnahme der Iodadsorption mit zunehmender Temperatur beobachtet werden. Diese fiel für die BE-Smectite vergleichsweise gering aus (weniger als 1 % der relativen Sorption). Alle übrigen Versuchsvarianten wiesen eine Abnahme der Sorption von < 10 % auf. Lediglich bei allen Tönen in Verbindung mit DPyDD nahm die Iodadsorption mit steigender Temperatur – beginnend bei 50°C - rapide ab, insgesamt um etwa die Hälfte bis zwei Drittel.

AP 8: Sowohl in der in situ Untersuchung der Basisnetzebenenabstände bei verschiedenen Temperaturen als auch in der thermokalorimetrischen und –gravimetrischen Untersuchung zeigte sich die große thermische Stabilität des aromatischen Phosphoniumsalzes TPP. HDPy-, HDTMA-, BE- und DPyDD-Tone wiesen in den Aufheizexperimenten eine thermische Stabilität bis ca. 200 °C auf, für TPP-Montmorillonit ist diese bis ca. 380 °C gegeben. Der Basisnetzebenenabstand von 1.88 nm bleibt im Temperaturbereich bis 380 °C stabil. Die Zunahme in der Intensität der gebeugten Röntgenstrahlung während des Aufheizens kann auf Ordnungsreaktionen in der Struktur des Organotons zurückgeführt werden.

AP 9: Für die Versuche zur Stabilität der Organotone im salinaren Milieu wurden eine paragenetische Gleichgewichtslösung einer Salzformation (IP-21) und eine NaCl-Lösung verwendet. Beide Lösungen wurden der besseren Handhabbarkeit wegen mit jew. 5 % (Gew.) bidestilliertem Wasser verdünnt. In Batch-Versuchen mit I-125-Tracer zeigte sich, dass hier die Sorption des Tracers durch die Smectite etwa um ein Drittel geringer ausfiel als in synth. Bodenwasser, die der Vermiculite allerdings um mehr als die Hälfte. Ein Teil des Tracers wurde aber trotz der großen Ionenstärken von IP-21- und NaCl-Lösung (9,731, bzw. 5,094 mol/l) vom Ton festgehalten, was für eine hohe Selektivität für Iod spricht.

4. Geplante Weiterarbeiten

Noch laufende (Wiederholungs-) Versuche werden beendet, die Ergebnisse fließen in die Endauswertung ein.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Die im letzten Bericht aufgeführten Veröffentlichungen wurden inzwischen für Appl. Clay Sci. akzeptiert und werden 2004 erscheinen

Zuwendungsempfänger: FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 9491
Vorhabensbezeichnung: Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2001 bis 30.06.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 376.438,65 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Bernhard	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

Dazu werden modernste spektroskopische Verfahren wie Laserspektroskopie und Röntgenabsorptionsspektroskopie eingesetzt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in die Arbeitsaufgaben:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Auswertung der Literatur bezüglich der Wechselwirkung von Cm(III), Np(V) mit Mikroorganismen und organischen Modellliganden zur Interpretation der eigenen spektroskopischen Messungen
- Fortführung der Arbeiten zur Optimierung der Anzucht von *Desulfovibrio äspöensis* Biomasse
- Charakterisierung der Biomasse (Lichtmikroskop und genetische Charakterisierung)
- Abschluss der Arbeiten zur Aufklärung der Wechselwirkung der Biomasse mit Uran(VI)
- spektroskopischen Messungen zur Aufklärung der U-Speziation im Bioakkumulat mittels LIPAS

- TRLFS des Curiums im Spurenkonzentrationsbereich mit der Biomasse, Beginn der Arbeiten zur Validierung der erzielten TRLFS-Ergebnisse mit Modellverbindungen
- Beginn der Arbeiten zur Bestimmung der Wechselwirkung von *D. äspöensis* mit Np(V)
- Erarbeitung eines Vortrags: Interaction of *D. äspöensis* with actinides für die internationale Konferenz Migration '03, Gyeongju, Korea

Ergebnisse

AP 1: kontinuierliche Anzucht und genetische Charakterisierung der Biomasse von *D. äspöensis*.

AP 2 Wechselwirkung mit Uran: Detaillierte Untersuchungen mittels LIPAS zeigten, dass die Zellen in der Lage sind U(VI) zu U(IV) zu reduzieren. Bei Anwesenheit von 15 mgU/l im Medium konnte durch die Absorptionsbande bei 650 nm (Kontaktzeit: 72 h) eindeutig U(IV) nachgewiesen werden. Der Urangehalt im Bioakkumulat betrug 10.4 mgU/g (57 %). Bei 150 mgU/l im Medium, konnte nicht eindeutig U(IV) mittels LIPAS nachgewiesen werden. Wahrscheinlich ist die Bioreduktion an lebende Zellen gebunden. Bei 150 mgU/l im Medium ist die toxische Wirkung des Urans so hoch, dass 72 h schon mehr als 90 % der Zellen stark geschädigt sind. Bei 15 mgU/l sind noch 30 % der Zellen ungeschädigt. Die Wechselwirkung von U(VI) mit *D. äspöensis* ist ein komplizierter Prozess, der sich aus Biosorption, Bioreduktion und dem Eindringen des Urans in die Zellen zusammensetzt.

AP 3 Curium: Die TRLFS Untersuchungen zeigten, dass im neutralen und leicht basischen pH-Bereich nahezu 100 % des Curiums von den Zellen gebunden und somit immobilisiert werden. Der gebildete Oberflächenkomplex ist sehr stabil. Erst nach 26 Wochen verringerte sich die Fluoreszenzintensität merklich um 70 %. Auch die Fluoreszenzlebensdauer nahm von 160 μ s auf 140 μ s ab. Zur Komplexbildung von Cm mit organischen phosphathaltigen Modellverbindungen gibt es keine Erkenntnisse in der Literatur. Erste Messungen wurden mit ATP durchgeführt. Schon bei ATP-Gehalten von 3×10^{-6} M konnte bei pH 1.5 eine Komplexbildung mit Cm (3×10^{-7} M) mittels TRLFS nachgewiesen werden.

AP 4 Neptunium: Erste Versuche im pH-Bereich 3 bis 6 (Np(V)-Konzentration: 1×10^{-4} M) ergaben mittels Absorptionsspektroskopie kaum eine Wechselwirkung (Kontaktzeit von 72 h). Eine Bioreduktion des Np(V) in messbaren Mengen erfolgte nicht.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Biomassegewinnung von *D. äspöensis*, Optimierung der Herstellung, genetische Charakterisierung
- Versuche zur Charakterisierung der funktionellen Gruppen der Bakterienoberfläche mittels Titration
- Zusammenfassung der Ergebnisse U + Biomasse als Veröffentlichung
- TRLFS mit Modellverbindungen zur Verifizierung der Ergebnisse Cm(III)-Biomasse
- Untersuchungen zur Wechselwirkung mit Neptunium und Plutonium
- Beginn der Erstellung des Abschlussberichtes

5. Berichte, Veröffentlichungen

- H. Moll, Th. Stumpf, M. Merroun, A. Roßberg, S. Selenska-Pobell, G. Bernhard: Time-resolved laser fluorescence spectroscopy study of the interaction of Cm(III) with *Desulfovibrio äspöensis* DSM 10631T, Environmental Science and Technology, Manuskript akzeptiert zur Veröffentlichung (2003).
- Teilnahme an der internationalen Konferenz MIGRATION'03, Gyeongju, Korea, 21.-26. September 2003, Vortrag: Moll, H.; Merroun, M.; Stumpf, Th.; Geipel, G.; Selenska-Pobell, S.; Hennig, C.; Roßberg, A.; Bernhard, G.: Interaction of *Desulfovibrio äspöensis* with Actinides

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9501
Vorhabensbezeichnung: Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinustons im Ventilationsversuch im Mont Terri Untertagelabor		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2001 bis 31.05.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 283.253,00 EUR	Projektleiter: Dipl.-Geophys. Rothfuchs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Mit der im Mt. Terri Untertagelabor installierten RESECS-Messanlage werden täglich Dipol-Dipolmessungen zur Bereitstellung der Messdaten für die Berechnung der Resistivitätstomogramme durchgeführt. Die aktuellen Messdaten werden mindestens wöchentlich nach Braunschweig übertragen und regelmäßig ausgewertet. Die vor Beginn der Ventilation von Oktober 2002 bis Mai 2003 ermittelten Tomogramme zeigen eine sehr gleichmäßige Resistivitätsverteilung mit Resistivitätswerten zwischen 6 und 25 Ωm . Diese Werte repräsentieren ein praktisch voll gesättigtes Gebirge. Nach Beginn der Ventilation im Juni 2003 und insbesondere nach Absenkung der relativen Luftfeuchte auf 0 – 20 % zeigen sich signifikante Änderungen in der Resistivitätsverteilung, die besonders deutlich in der Darstellung der Resistivitätsänderungen in Erscheinung treten. Anhand der geoelektrischen Messungen reicht die deutlich entsättigte Zone bis zu 0,4 m in das Gebirge hinein. Eine erste Beurteilung anhand der im Labor durchgeführten Kalibrierungen ergibt eine Entsättigung bis zu maximal 50 %. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit den von den Projektpartnern durchgeführten Messungen der Porendruckverteilung.

Damit scheint sich zu erweisen, dass die gleichstrom-geoelektrische Methode recht gut zur Ermittlung von Feuchteverteilungen bzw. zur Ermittlung der Ent- bzw. Aufsättigung des konsolidierten Tonstein geeignet ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der täglichen Messungen bis zum Projektende im Mai 2004.
- Probennahme nach Ventilationsende und Durchführung von Kalibriermessungen an entsättigten Tonsteinproben im Labor

5. Berichte, Veröffentlichungen

Wieczorek, K., Rothfuchs, T., 2003: Mont Terri Ventilation Test, Data Report Geoelectric Monitoring, Status as of 10 September 2003

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine	Förderkennzeichen: 02 E 9511
Vorhabensbezeichnung: Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2001 bis 31.10.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 710.316,00 EUR	Projektleiter: Dipl.-Ing. Filbert

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Rahmen des Vorhabens arbeitet die DBE TECHNOLOGY GmbH an folgenden Arbeitspaketen:

AP1: Zusammenstellen der Basisdaten und Randbedingungen für eine vergleichende Gegenüberstellung

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

AP2: Endlagerbehälterkonzepte

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

AP3: Endlagerauslegung/-technik

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

AP4: Endlagersicherheit der Betriebsphase

Behandelt werden hier die Themen Strahlenschutz, Safeguards sowie Kritikalität.

AP5: Endlagersicherheit in der Nachbetriebsphase

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

AP6: Zusammenfassende Bewertung und Dokumentation der Untersuchungsergebnisse sowie Aufzeigen der offenen Fragen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Rahmen des AP1 wurde der von ANDRA/Frankreich veröffentlichte Bericht „Dossier 2001 ARGILE – Progress report on feasibility studies & research into deep geological disposal of high-level, long-lived waste; Synthesis report, December 2001, ausgewertet. Schwerpunkte dabei waren die Präzisierung des Endlagerinventars, einschließlich der Container-Konzeption, sowie des Radionuklidinventars der verschiedenen Abfallströme, die Grundsätze der Endlagerauslegung, einschließlich der Rückholbarkeit und das Sicherheitsnachweiskonzept. Die Arbeiten zu den Endlagerkonzepten im AP2 und im AP3 Endlagerauslegung/-technik wurden fortgeführt. Die radiologische Betrachtung des Endlagergebinderkonzeptes für die Bohrlochlagerung wurde ebenso wie die bergmännische Grundlagenermittlung zum Bohren im Tongestein abgeschlossen.

Auf Grundlage eines Endlagerkonzeptes für die Streckenlagerung mit POLLUX-Endlagergebinden im AP3 wurden Berechnungen zur thermischen Auslegung eines Endlagers im Wirtsgestein Ton durchgeführt. Für eine Beladung der POLLUX-Endlagergebinde mit Brennstäben aus 3 Brennelementen wurde eine minimale Zwischenlagerzeit von 31 Jahren ermittelt. Für die nach dem Abfallmengengerüst anfallenden 5.523 POLLUX-3-Behälter ergibt sich daher bei einem erforderlichen Behälterabstand von 20 m und einem Streckenabstand von 30 m ein Endlagerflächenbedarf von ca. 5 Mio. m².

Im Rahmen der Frage zu Safeguards-Aspekten im AP4 für ein Endlager in Tongestein wurde das entwickelte Konzept der Endlagerbehälter, des innerbetrieblichen Transports (über Tage, und durch den Schacht und unter Tage) sowie das Einlagerungs-, Verfüll- und Verschlusskonzept untersucht. Berücksichtigt wurde dabei auch die zeitliche Entwicklung des Endlagers von der Annahme des ersten Gebindes bis zum Verschluss der Schächte. Daraus wurden Ansätze für ein vorläufiges Safeguardskonzept abgeleitet. „Die Erfahrungen im Bereich der Endlagerauslegung und des Endlagerbetriebs wurden im Rahmen eines "Consultancy meetings" der IAEA zum Thema " Technologische Einwirkungen von Safeguardsanforderungen für geologische Endlager" eingebracht."

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Bearbeitung der Safeguards-Aspekte eines Endlagers im Ton wird abgeschlossen.

Mit der Bearbeitung der Randbedingungen und grundsätzlichen Aspekte für den Langzeitsicherheitsnachweis und der Aspekte der Geochemie im Hinblick auf die Langzeitsicherheit im AP5 wird begonnen.

Des weiteren wird mit der zusammenfassenden Bewertung und Dokumentation der Untersuchungsergebnisse begonnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9521	
Vorhabensbezeichnung: Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2001 bis 30.09.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 355.414,00 EUR		Projektleiter: Frau Dr.-Ing. Müller-Hoeppe	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Um einen objektiven, einheitlichen Sicherheitsmaßstab zu erhalten, wie er im System der Eurocodes als Ziel verankert ist und auch den Richtlinien für Bauten des Umweltschutzes zur Beherrschung wassergefährdender Stoffe zu Grund liegt, ist geplant, eine nachweisbare obere Schranke für das hypothetische Gesamtrisiko zu ermitteln. Dieser Wert stellt einen einheitlichen Sicherheitsmaßstab dar und lässt sich sowohl mit von konventionellen, technischen Anlagen ausgehenden hypothetischen Risiken als auch mit realen Lebensrisiken von Menschen vergleichen. Der Vergleich soll im Rahmen des Vorhabens durchgeführt werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenstellung von Informationen zu Endlagern und Verschlusskonzepten in Granit und Ton und Identifikation der Wirkungsweise der Barrieren
- AP2: Entwicklung von Sicherheitsnachweiskonzepten für Endlagerkonzepte in Granit und Ton und Darstellung der Endlagersystementwicklung
- AP3: Quantifizierung des Sicherheitsniveaus von Einzelbarrieren (Permeationsbarrieren)
- AP4: Quantitative Bestimmung des Sicherheitsniveaus in Konzepttiefe und Gegenüberstellung von Schranken für Risikowerte
- AP5: Zusammenstellung aller Ergebnisse, Dokumentation und zusammenfassende Bewertung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Die bisher zusammengetragenen Informationen wurden ergänzt und mit neueren Informationen abgeglichen.

AP2: keine

AP3: Die Zusammenstellung quantitativer Daten zur Ermittlung des Sicherheitsniveaus für Einzelbarrieren konzentrierte sich im Berichtszeitraum weiter auf die Bewertung der geotechnischen Barrieren, wie Schachtverschlüsse und Abdichtungen/Dämme, und deren hydraulischen Widerstand. Da die Datenbasis zur Bewertung von Auflockerungszonen im Ton und Granit relativ schlecht ist und Daten zur Bewertung der Kontaktzonen nicht vorliegen, wurde für methodische Tests auch die Datenbasis zur Bewertung des hydraulischen Widerstandes geotechnischer Barrieren im Salz zusammengestellt und ausgewertet. Mit der Zusammenstellung der Datenbasis zur Permeationsbarriere Behälter im Wirtsgestein Granit wurde begonnen.

AP4: Für die probabilistische Absicherung verschiedener Teilsicherheitsbeiwerte wurde für methodische Tests ein Modell für den hydraulischen Widerstand eines Dammbauwerkes im Salz mit den Elementen Abdichtungskörper, Kontaktzone und Auflockerungszone erstellt.

An Hand des auf Grundlage der ausgewerteten Daten erstellten Modells für den hydraulischen Widerstand eines Dammbauwerkes lässt sich abschätzen, dass die hydraulische Durchlässigkeit des rechnerisch erstellten Abdichtungskörpers im Vergleich zur Kontakt- und Auflockerungszone in den meisten Fällen eine untergeordnete Rolle spielt. Hinsichtlich der probabilistischen Absicherung der Teilsicherheitsbeiwerte lässt sich als Ergebnis festhalten, dass die Einführung einer unteren Schranke für die Permeabilität, z. B. erzielt durch technische Maßnahmen, sowie einer Mindestlänge für das Abdichtungsbauwerk das nachweisbare Sicherheitsniveau deutlich erhöht.

Vorgesehen ist es, das o. g. Modell, soweit dies aufgrund der vorliegenden Datenbasis möglich ist, auf die Endlagerformationen Granit und Ton zu übertragen. Bei unzureichender Datenbasis wird die Abhängigkeit des Sicherheitsniveaus von den entsprechenden Parametern bestimmt und die für eine sinnvolle quantitative Berechnung erforderliche Genauigkeit dieser Parameter abgeschätzt.

AP5: noch nicht begonnen

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Neu vorliegende Information in die Arbeiten einbeziehen

AP2: Untersuchung von Einzelbarrieren fortsetzen

AP3: Zusammenstellung quantitativer Daten und Bewertung von Einzelbarrieren weiterführen.

AP4: Arbeiten zur Bestimmung von Teilsicherheitsbeiwerten unter Berücksichtigung der modifizierten Vorgehensweise aufgrund der teilweise unzureichenden Datenbasis weiterführen.

AP5: siehe Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9531
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2001 bis 31.12.2005	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 770.566,00 EUR	Projektleiter: Dipl.-Geophys. Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Auf Grund der Verzögerungen bei der Errichtung des Untertagelabors in Bure führt die ANDRA ersatzweise in Mont Terri einen Erhitzer-Vorversuch unter der Bezeichnung „Heater Experiment HE-D“ durch, an dem sich die DBE TECHNOLOGY gemäß der Vereinbarung mit ANDRA im Rahmen der Projektaufgaben beteiligt. Die instrumentelle Beteiligung sieht die Installation eines faseroptischen Extensometers und eines Temperaturkabels in einer Bohrung senkrecht zum Erhitzer vor.

Aufgrund der durch Messungen an Kernmaterial festgestellten signifikanten Anisotropie der Wärmeleitfähigkeit des Tonsteins (Opalinuston) wurde seitens der Firma Itasca die Möglichkeit der Modellierung thermischer Anisotropien in das Programmsystem FLAC3D implementiert und erfolgreich getestet. Mit dieser neuen Möglichkeit wurden erneut Auslegungsrechnungen zur Bestimmung des optimalen Messbereiches der zu installierenden faseroptischen Sensoren durchgeführt. Unter Berücksichtigung der thermischen Anisotropie ergaben sich geringere zu erwartende mechanische Verschiebungen innerhalb des Tonsteins. Anlass zur Veränderung der Sensoren ergab sich allerdings aus diesen Berechnungen nicht.

Die Untersuchungsbohrung wurde gegen Ende des Berichtszeitraumes gebohrt und die Sensoren installiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Anschluss der Datenerfassung.

Einrichtung einer Datenfernübertragung zur regelmäßigen Übertragung der Messdaten und zur Fernwartung der Kontrollsoftware.

Weitere Berechnungen zum Verformungsverhalten der Tonformation.

Vergleichende Analyse von Messungen und Berechnungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9541
Vorhabensbezeichnung: Vorprojekt zur Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im URL Bure		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2001 bis 31.12.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 737.738,00 EUR	Projektleiter: Dr. Zhang	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geotechnik:

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

Geochemie:

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

Erstellung des Abschlussberichtes.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die geplanten geotechnischen und geochemischen Laboruntersuchungen und Modellierungsarbeit wurden erfolgreich durchgeführt. Der Entwurf des Abschlussberichtes wurde erstellt. Die Ergebnisse sind nachfolgend zusammengefasst:

Kriechversuche: Die Kriechversuche an Callovo-Oxfordian und Opalinus Tonproben wurden über einen Zeitraum von bis zu 2,5 Jahren vorgenommen. Die Proben zeigten Kriechverformungen bei konstanter Spannung zwischen 0,6 und 18 MPa über eine Zeit von 1 bis 18 Monaten. Nach einigen Monaten erreichte das Kriechen einen scheinbar stationären Zustand. Ein signifikanter Einfluss der Belastungsrichtung relativ zur Schichtung auf das Kriechverhalten wurde nicht beobachtet.

Quellversuche: Zwei Quelldruckversuche wurden in einer Quelldruckmesszelle und in einer Triaxialzelle durchgeführt. Bei konstantem Volumen zeigte die Callovo-Oxfordian Tonprobe in Kontakt mit Tonlösung einen Quelldruck von ca. 1,6 MPa, während die Tonprobe bei konstanter Probenlänge ohne Seitendruck durch Befeuchtung mit Wasserdampf einen viel höheren Axialquelldruck bis 10 MPa zeigt. Bei Entsättigung durch trockene Luft nahm der Axialquelldruck auf Null ab. In zwei einaxialen Quellversuchen bei konstanter Axialspannung von 15 und 18 MPa wurden signifikante Quellverformungen beobachtet. Bei Entsättigung wurde eine starke Schrumpfung beobachtet.

THM-Verversuche: Zwei THM-Prüfanlagen mit zwei Oedometerzellen und einer Triaxialzelle wurden entwickelt und getestet. In den triaxialen THM-Versuchen an den Tonproben wurden komplexe gekoppelte THM-Phänomene beobachtet. Undrainierte Kompaktion bei hydrostatischen Spannungen von 12 – 15 MPa erhöhte den Porenwasserdruck auf 11 bis 13 MPa. Die Erhöhung des Porenwasserdruckes bewirkte eine verzögerte Expansion. Die Reduzierung des Porenwasserdruckes bewirkte eine verzögerte Kompaktion. Unter konstanten Spannungen von 15 – 19 MPa bewirkte die Temperaturerhöhung von ca. 30°C auf 90 bis 120°C eine Steigerung des Porenwasserdruckes auf 10 bis 12,5 MPa.

Extraktion: Frühere Extraktionsversuche wurden mit einer niedrig mineralisierten Lösung wiederholt. Kationenaustausch und Ausfällungs-/Auflösungsprozesse bestimmten die beobachteten Änderungen in der Lösungschemie. Gleichwohl konnte ein Gleichgewicht zwischen Lösung und ungestörtem Bure-Ton nicht hergestellt werden.

Modellrechnungen der gekoppelten THM-Prozesse in Tonsteinen und Bentoniten wurden unter Berücksichtigung von Labor- und In-situ-Bedingungen mit CODE-BRIGHT durchgeführt. Die beobachteten Phänomene wie Quelldruck/Quellverformung, Kompaktion/Schrumpfung, Aufsättigung/Entsättigung, hydro-mechanische Prozesse und thermische Effekte lassen sich durch die Modellierungen plausibel berechnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

keine

5. Berichte, Veröffentlichungen

Zhang, C.-L.; Kröhn, K.-P.; Rothfuchs, T., 2003: "Applications of CODE-BRIGHT to Thermal-Hydro-Mechanical Experiments on Clays", Proc. International Tagung „Experimental Evidence towards Numerical Modelling of Unsaturated Soils, Weimar, Sept. 2003

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9551	
Vorhabensbezeichnung: Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2001 bis 28.02.2005		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.252.955,00 EUR		Projektleiter: Dr. Noseck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Standort Ruprechtov

Durchgeführte Arbeiten:

- Weitergehende spektroskopische Untersuchung der immobilen Uranphasen.
- Überarbeitung des konzeptuellen Modells für die Uranmigration am Standort.
- Interpretation aller GW-Daten und Ableitung eines hydrogeologischen Modells.
- Vorbereitung und Durchführung einer neuen Bohrkampagne mit insgesamt sechs weiteren Bohrungen.

Ergebnisse:

- Unterschiedliche Methoden zur Charakterisierung der immobilen Uranphase zeigen, dass U(IV) den vorherrschenden Redoxzustand des Urans darstellt. Eine U(IV)/U(VI)-Trennung auf chemischem Wege weist 80-90 % des Urans als vierwertig aus. Die $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ -Isotopenverhältnisse in der Fraktion von U(IV) und U(VI) unterscheiden sich signifikant.
- Aus den vorliegenden Isotopendaten aller GW-Entnahmestellen wurde ein konzeptuelles Modell für den Grundwassertransport am Standort erstellt.

Standort Heselbach

Weitergehende Charakterisierung

- Abteufen und Ausbau einer 4“-Messtelle am tertiären Rinnenrand
- Grundwasser-Beprobungen mit Analytik der Haupt- und Spurenelemente
- Langzeitmessungen hydraulischer Parameter mittels Daten-Logger
- Aufbereitung der Wetterstationsdaten
- Tonmineralanalytik
- Auswertung radiochemischer Daten

Ergebnisse:

- Die neu abgeteufte Bohrung HB11-03 weist die bisher höchsten Urangelhalte (1100 ppm) im Sediment auf
- Hauptbestandteile der Tone sind Kaolinit und Illit
- Die Urangelhalte im Grundwasser variieren mit der Bikarbonatkonzentration
- Deutliche Ungleichgewichte der Aktivitätsverhältnisse in sequentiell extrahierten Sedimentproben ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) belegen einen jungen Urantransport innerhalb der letzten 350ka

4. Geplante Weiterarbeiten

Standort Ruprechtov

- Grundwasser-Beprobungen an allen neuen Grundwassermessstellen zur Ermittlung der chemischen Zusammensetzung und des Gehalts an natürlichen Isotopen.
- Charakterisierung ausgewählter Sedimentproben der neuen Bohrkerne zur Klärung offener Fragen.
- Charakterisierung des Einflusses organischer Materie auf die Uranrückhaltung.

Standort Heselbach

- Einsatz der In-situ-Sonde im Bohrloch HB11-03
- Weiterführung der analytischen Arbeiten an neu gewonnenem Probenmaterial. (Porositätsmessungen, Durchlässigkeiten, zusätzliche sequentielle Extraktion).
- Kontinuierliche Wasserstandsmessungen im uranhaltigen Braunkohlehorizont
- REM/EDX Analytik, sowie U(IV)/U(VI) Messungen an ausgewählten Proben mit hohen U-Gehalten.
- Erstellung eines Grundwassermodells zur Modellierung mit dem Programm FEFLOW.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9561	
Vorhabensbezeichnung: Modellentwicklung zur Quellung hochkompakter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 – 120 °C			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2001 bis 30.09.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 797.096,88 EUR		Projektleiter: Dr. Herbert	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

- Ermittlung statistisch abgesicherter Quelldruckdaten von kompaktierten Bentoniten mit den Rohdichten 1,6, 1,7 und 1,8 g/cm³ mit den hochsalinaren Lösungen NaCl-, IP9-, P24-, P21- und IP19-Lsg.
- Entwicklung einer geeigneten Messapparatur und Ermittlung erster Quelldruckdaten bei erhöhten Temperaturen.
- Untersuchung des Einflusses von geometrischen und Skalierungsfaktoren auf den Quelldruck.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Bau der Messstände für Quelldruckmessungen bei Umgebungstemperaturen

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

AP2: Durchführung der Messungen bei Umgebungstemperaturen

Es werden die Messungen zum Erreichen des Teilziels 1 durchgeführt.

AP3: Quelldruckmessungen in Abhängigkeit von der Probengeometrie

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

AP4: Quelldruckmessungen in Abhängigkeit von der Probengröße

Fremde FuE-Mittel für den Bau einer großen Messapparatur für Quelldruckmessung an einem Verbund von bis zu vier Bentonitziegelsteinen wurden nicht genehmigt. Alternativ werden im AP4 Messungen an zylindrischen Probekörpern unterschiedlicher Länge durchgeführt und die Ergebnisse verglichen.

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

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

AP6: Erstellung des geochemischen Modells für Quelldrücke

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- 10 Versuche Calcigel + NaCl-Lösung, Dichte 1,6 g/cm³, kleine zylindrische Zelle, gelagert in konstanter Luftfeuchte von 70 %
- 5 Versuche MX-80 + NaCl-Lösung, Dichte 1,6 g/cm³, kleine zylindrische Zelle, lufttrocken
- 5 Versuche MX-80 + NaCl-Lösung, Dichte 1,6 g/cm³, kleine zylindrische Zelle, gelagert in konstanter Luftfeuchte von 70 %
- 4 Versuche MX-80 + IP24-Lösung, Dichte 1,7 g/cm³, kleine zylindrische Zelle, gelagert in konstanter Luftfeuchte von 70 %
- 4 Versuche MX-80 + IP21-Lösung, Dichte 1,7 g/cm³, kleine zylindrische Zelle, gelagert in konstanter Luftfeuchte von 70 %
- 3 Versuche MX-80 + NaCl-Lösung, Dichte 1,8 g/cm³, kleine zylindrische Zelle, gelagert in konstanter Luftfeuchte von 70 %
- 3 Versuche MX-80 + IP24-Lösung, Dichte 1,8 g/cm³, kleine zylindrische Zelle, gelagert in konstanter Luftfeuchte von 70 %
- 3 Versuche MX-80 + IP19-Lösung, Dichte 1,8 g/cm³, kleine zylindrische Zelle, gelagert in konstanter Luftfeuchte von 70 %
- Die Versuche der Messung von Quelldrücken bei 120 °C wurden fortgesetzt. 5 Versuche mit MX-80 + NaCl-Lösung in der kleinen zylindrischen Zelle, Dichte 1,6 g/cm³.

Ein Vergleich der Quelldrücke von Proben, die bei (wechselnder) Raumfeuchte und solche die bei 70 % Luftfeuchte (Gleichgewichtsfeuchte zu NaCl-Lösung) gelagert worden waren ergab, dass die Schwankungen bei konstanter Luftfeuchte geringer wurden. Durch die Gleichgewichtseinstellung der Proben mit der Luftfeuchte von 70 % war der Wassergehalt der Proben vor Beginn der Versuche gleich bleibend höher. Dadurch waren aber auch die gemessenen Quelldrücke etwas niedriger (MX-80, Dichte 1,6 g/cm³, lufttrocken mit NaCl-Lösung durchschnittlicher Quelldruck 10 bar, gleiche Proben in NaCl-Atmosphäre gelagert Durchschnittsquelldruck 5,5 bar). Die Ergebnisse aller o. g. Quelldruckversuche liegen vor und werden zur Zeit ausgewertet. Die Versuche mit höherer Dichte sind erwartungsgemäß deutlich höher als bei der Dichte von 1,6. Beispielfhaft werden hier einige Mittelwerte angegeben:

- MX-80 + NaCl-Lösung Dichte 1,6 g/cm³, durchschnittlicher Quelldruck 5,5 bar
- MX-80 + NaCl-Lösung Dichte 1,7, Quelldruck 13 bar (1 Messung bei 70 % rLf)
- MX-80 + NaCl-Lösung Dichte 1,8, Quelldruck 28 bar (3 Messungen bei 70 % rLf)
- MX-80 + IP24-Lösung Dichte 1,6, Quelldruck 5,5 bar (3 Messungen bei 70 % rLf)
- MX-80 + IP24-Lösung Dichte 1,7, Quelldruck 9,9 bar (3 Messungen bei 70 % rLf)
- MX-80 + IP24-Lösung Dichte 1,8, Quelldruck 27 bar (3 Messungen bei 70 % rLf)

Bei den Versuchen bei 120 °C wurde während der Aufheizphase eine starke Entwässerung beobachtet, die zu einem starken Schrumpfen der Proben führte. Die darauf folgende Flutung erzeugte bei keinem der 5 Wiederholungsversuche einen messbaren Quelldruck.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das vorgesehene Messprogramm wird vervollständigt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9571
Vorhabensbezeichnung: Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2001 bis 31.12.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 172.917,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krone	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

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

- 02E9612 – Anforderungen an die Standorterkundung für HAW Endlager im Hartgestein (ASTER)
 - 02E9642 – Untersuchungen zur Endlagerung in den Großbohrlöchern
- um die notwendigen Abstimmungen mit den beteiligten deutschen Partnern BGR, GRS und ausländischen Institutionen für die planmäßige Durchführung der Vorhaben zu treffen, sowie auf die Vorbereitung und Durchführung eines bilateralen Seminars zur wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerforschung, auf dem die bisher erzielten Ergebnisse vorgestellt und gemeinsam mit Schwerpunkten für zukünftige gemeinsame Projekte diskutiert wurden. Insgesamt konnte eine positive Gesamtbilanz gezogen werden.

Mit dem Ziel gemeinsame Arbeiten zu den Themenstellungen

B.5 Immobilisierung und Konditionierung radioaktiver Abfälle, sowie Behälterentwicklung und

B.6 Zerstörungsfreie Messtechnik für die Bewertung von verglasten hochradioaktiven Abfällen zu entwickeln, fand im Dezember 2003 ein Besuch von Wissenschaftlern des VNIPIET und des Bochvar-Institutes im Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik des Forschungszentrums Jülich statt. Darüber hinaus wurde die Herstellung wissenschaftlicher Kontakte zwischen dem Chlopin-Institut und dem Institut für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe unterstützt, um eine Zusammenarbeit zur Kolloidforschung im Rahmen der Themenstellung B.2 Untersuchungen zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen Granitformationen vorzubereiten.

Zu den Ergebnissen der oben genannten Gemeinschaftsvorhaben liegen gesonderte Halbjahresberichte vor. Die Ergebnisse zum abgeschlossenen Vorhaben „Untersuchungen zur Endlagerung in Großbohrlöchern“ wurde ein Abschlussbericht dokumentiert, während zum Vorhaben „ASTER“ ein interner Zwischenbericht erstellt wurde.

Auf dem bilateralen Arbeitstreffen im Dezember 2003 wurde der gemeinsame Arbeitsplan für 2004 verabschiedet.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: IfG, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9582	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2002 bis 30.06.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 452.652,00 EUR		Projektleiter: Dr.-Ing. Kamlot	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In einem Gemeinschaftsvorhaben mit der GRS, Bereich Endlagersicherheitsforschung, werden an einem Hauptanhydritaufschluss, der gegenwärtig infolge Abbaueinfluss erhöhten Gebirgsspannungen ausgesetzt wird, der Spannungszustand, die Hohlraumkonvergenz und die Kluftpermeabilität 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 Kluftströmung im Anhydrit untersucht, wobei die In-situ-Messwerte der Modellüberprüfung dienen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

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

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

AP5 Auswertung und zusammenfassende Berichterstattung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die weitergeführten Konvergenzmessungen in der Liegendauffahrt zum Messort zeigen einen deutlichen Rückgang der Konvergenzraten nach Abschluss der Gewinnungsarbeiten im Abbau 2111 im Februar 2003. Daraus ist zu schlussfolgern, dass die maximal zu erwartenden Spannungserhöhungen bis Ende Februar 2003 eingetreten sind.

Diese lagen bei etwa 1 MPa bzgl. der minimalen und bei etwa 3 MPa bzgl. der maximalen Gebirgsspannung. Als Messmethoden wurden das Hydrofracverfahren und das Bohrlochsclitzen angewendet.

Die wiederholten Permeabilitätsmessungen im Anhydrit zeigen eine z. T. deutliche Erhöhung der Permeabilität. Die Erhöhung ist abhängig von der geologischen Ausbildung des untersuchten Anhydritbereiches (kompakte Ausbildung, aufgeschlossene Carnallitkluft, Kluft ohne Salzfällung, bitumengefüllte Drucksuturen).

Zur Permeabilitätsermittlung wurde ein Auswerteverfahren auf Basis der radialsymmetrischen DARCY-Strömung um ein druckbeaufschlagtes Bohrloch entwickelt. Die Permeabilität und Porosität lassen sich mit einem Parameterfit anhand der Druckabfallkurven ermitteln. Zur Überprüfung wurde mit dem Rechenprogramm FLAC das Modell eines druckbeaufschlagten Bohrloches berechnet. Mit einer mechanisch/hydraulisch gekoppelten Rechnung konnten unter Simulation der gemessenen Druckabfallkurven die gemessenen Permeabilitäten bestätigt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Entsprechend der Vorhabensbeschreibung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9592	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2002 bis 31.12.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 653.234,50 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Wieczorek	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

AP 7: Auswertung und zusammenfassende Berichterstattung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1:

Im Berichtszeitraum wurden die seismische Ereignisregistrierung weitergeführt. Die Ereignisse wurden unter Verwendung der von ESG weiterentwickelten Ortungsroutine vorausgewertet; dabei wurden die bei der Nachauswertung der Daten aus der Projektphase 1 festgestellten Häufungsbereiche von Ereignislokationen entlang des Streichens bestätigt. Insgesamt lassen sich 6 bandartige Strukturen im Anhydrit erkennen.

Eine weiterführende Auswertung der seismischen Ereignisse bzgl. der Herdmechanismen wurde durch ESG als Auftragsnehmer durchgeführt. Die Herdgeometrie der Ereignisse ist im Allgemeinen sehr komplex, es wurden hauptsächlich schubartige, aber auch zahlreiche volumetrische Herdmechanismen ermittelt. Reine Scherungen fehlen fast vollständig, so dass geschlossen wird, dass hohe Konzentrationen von Scherspannungen im überwachten Anhydrit nicht auftreten. Die Bewertung dieser Ergebnisse ist noch nicht abgeschlossen.

Die Seismikanlage wurde regelmäßig gewartet.

AP 2:

Aufbauend auf den Ergebnissen der bisherigen seismischen Messungen erfolgte die Festlegung einer Lokation für die Permeabilitätsmessungen. Für diese Messungen soll eine Bohrung in den Bereich der größten Ereignishäufung etwa 30 m unter der Sohle der unteren Strecke gestoßen werden. Ein Angebot über die erforderlichen, von K+S durchzuführenden Bohrarbeiten wurde angefordert. Aus betrieblich bedingten Gründen können die Bohrarbeiten und damit auch die Permeabilitätsmessungen voraussichtlich erst im Frühjahr 2004 erfolgen, so dass die Projektlaufzeit um ein halbes Jahr verlängert werden musste.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

AP 2: Durchführung von Permeabilitätsmessungen in unterschiedlich aufgelockerten Gebirgsbereichen.

AP7: Zusammenfassende Auswertung und Erstellung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9602
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur Gaserzeugung und -freisetzung sowie dem Wassergehalt und der Wasserumverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2002 bis 31.12.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 671.019,00 EUR	Projektleiter: Dr. Jockwer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am 1. September wurden die elektrischen Erhitzer im HE-B Feld abgeschaltet und es wurde anschließend mit dem Nachuntersuchungsprogramm begonnen. Die in der Versuchsstrecke installierten Komponenten wurden abgebaut.

Die Messungen zur Gasfreisetzung im Versuchsfeld haben ergeben, dass es in den Untersuchungsbohrungen infolge der Permeabilität des umgebenden Gebirges zu keinem weiteren Anstieg der freigesetzten Gaskomponenten und auch zu keinem weiteren Druckanstieg gekommen ist.

Die geoelektrischen Messungen im Versuchsfeld haben ergeben, dass es nur anfänglich (in 2002) zu einer Widerstanderniedrigung infolge der Temperaturerhöhung und daraus resultierenden Leitfähigkeitserhöhung des Porenwassers kam. Sobald sich ein konstantes Temperaturfeld eingestellt hatte, kam es auch zu keiner weiteren Widerstandsveränderung. Daraus kann gefolgert werden, dass es auch im Gebirge zu keiner Wasserumverteilung oder Wasserfreisetzung kam.

Unmittelbar nach Abschalten der Erhitzer wurden in einem gemeinsamen Bohrprogramm mit der BGR aus verschiedenen Bereichen des Versuchsfeldes Kerne für weitere Laboruntersuchungen gewonnen.

Die nachfolgenden geoelektrischen Messungen wurden unmittelbar nach Probengewinnung im Versuchsfeld durchgeführt, um eine Verfälschung infolge Austrocknung zu vermeiden. Dabei hat sich ergeben, dass sich der elektrische Widerstand der aufgeheizten Proben gegenüber den nicht aufgeheizten sich nicht signifikant verändert hat. Demzufolge gab es während der Aufheizung über 1,5 Jahre im Versuchsfeld keine Wasserumverteilung. Weiterhin wurden im Labor die Resistivitäten des Opalinus-Tons aus verschiedenen Bereichen des Mt. Terri in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit und der Temperatur ermittelt. Dabei nahmen bei allen Proben die Resistivitäten mit steigender Feuchtigkeit und mit steigender Temperatur ab.

Für die Untersuchung der Gasfreisetzung wurden die Proben im Versuchsfeld in speziellen Containern gasdicht verpackt und für die weiteren Untersuchungen ins Labor nach Braunschweig transportiert. Das entsprechende Untersuchungsprogramm ist begonnen worden, Ergebnisse hierzu liegen noch nicht vor.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fortführung der Labormessungen zur Resistivität der Opalinus-Tonproben in Abhängigkeit von Feuchtigkeit und Temperatur.

Fortführung der Labormessungen zur thermischen Gasfreisetzung aus Opalinus-Tonproben in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit.

Erstellung des Abschlussberichtes

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jockwer, N.: Experimental Studies on Gas Migration in Underground Rock Laboratories in Granitic and Argillaceous Rocks, EUROSAFE 2003, Paris, 25.-26. November 2003, Seminarheft 3, pp 55-67

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine	Förderkennzeichen: 02 E 9612
Vorhabensbezeichnung: Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein (ASTER)	
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2002 bis 31.12.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 572.709,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krone

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Ermittlung und Bewertung der verfügbaren Ausgangsdaten

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

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

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

AP5: Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

Die Ausgangsdaten für beide Standorte wurden im Ergebnis der Konsistenzprüfung und der Auswertung neuer Untersuchungsberichte weiter vervollständigt und in Abstimmung mit den anderen Projektpartnern präzisiert.

AP2:

Den Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum stellte die Präzisierung der Endlagerauslegung für den Granitstandort im Ergebnis thermischer Berechnungen dar. Zunächst waren für alle Abfallfraktionen Einlagerungskonzepte entwickelt und für die am stärksten wärmeentwickelnde Cs/Sr-Fraktion thermische Auslegungsrechnungen durchgeführt worden. Wegen des hohen Wärmeeintrags und der veranschlagten Grenztemperatur für den Bentonitbuffer musste das Einlagerungskonzept mehrfach optimiert werden. Ein befriedigender Lösungsansatz ergab sich durch die Erhöhung der Bentonitleitfähigkeit mittels Grafitzuschlag und durch die Einbettung des Abfallbehälters in einen Wärmeisulationsstein. Hierfür wurden in Variationsuntersuchungen die minimalen Bohrlochabstände in Abhängigkeit von der Behälteranzahl je Bohrloch ermittelt. Auf dieser Grundlage wurden die Abmessungen und die Geometrie der Einlagerungsfelder bestimmt.

Auf Grundlage der überarbeiteten Einlagerungskonzepte und der durchgeführten thermischen Auslegungsrechnungen konnte die erforderliche Größe eines möglichst ungestörten Granitblocks zur Aufnahme des Einlagerungsfeldes ermittelt werden.

Zu AP5:

Gemeinsam mit den anderen Projektpartnern wurden die bisher erzielten Ergebnisse in einem internen Zwischenbericht dokumentiert und VNIPI PT zur Stellungnahme übergeben.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die für Granit durchgeführten Auslegungsrechnungen sollen hinsichtlich der thermischen Parameter des Wirtsgesteins, der Einlagerungsteufe und der Abstände zwischen den Behältern im Bohrloch modifiziert werden, um deren Einfluss auf das erforderliche Einlagerungsvolumen und letztlich auf die Abmessungen des zu suchenden möglichst ungestörten Granitblockes für die Aufnahme des Endlagers zu ermitteln. Auf dieser Grundlage soll ferner ein generisches Endlagermodell entworfen werden. Darüber hinaus sollen Temperaturberechnungen für den Innenraum der Abfallbehälter zur Bewertung der Matrixstabilität und der Behälterkorrosion erfolgen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

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

J. Krone, M. Jobmann, T. Gupalo, C. Fahrenholz, W. Brewitz, E. Fein, J. Hammer: Deutsch-russische Zusammenarbeit zur Entwicklung eines methodischen Ansatzes für die Standortsuche und Standortauswahl in Hartgesteinsformationen, Clausthaler Kolloquium zur Endlagerung 2003, Clausthal-Zellerfeld

Interner Zwischenbericht zum Vorhaben vom Dezember 2003

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9622	
Vorhabensbezeichnung: Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein (ASTER) AP3: Vorbereitung eines sicherheitsanalytischen Endlager- und Standortmodells			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2002 bis 31.12.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 419.395,00 EUR		Projektleiter: Dr. Fein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist wie folgt unterteilt:

AP3: Untersuchungen im Granit und im Porphyry

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In der Zwischenzeit wurden für den Standort Krasnojarsk sicherheitsanalytische Modellrechnungen für die vier verschiedenen Abfallfraktionen Cs/Sr, Schlamm, SEE, Spaltprodukte durchgeführt. Diese beinhalten jeweils ein Nahfeld-, ein Fernfeld- sowie ein Biosphärenmodell. Die Fernfeld- und Biosphärenmodellierung erfolgte dabei mit Hilfe von je drei verschiedene Parametersätzen.

Weiterhin wurden schematisierte 2-Transportrechnungen in Anlehnung an die vorhandenen Parameter durchgeführt.

Für den Standort Mayak wurde von der Technischen Universität Braunschweig inzwischen ein 2-d Strömungsmodell anhand eines von den russischen Partnern zur Verfügung gestellten Profilschnittes erstellt. Zudem wurde die Veränderung des Grundwasserströmungsverhalten unter Annahme eines natürlichen Temperaturtiefenprofils und den daraus resultierenden Dichteeffekten untersucht.

Für den Zwischenbericht wurden die Texte erstellt.

Vom 30.-31.10.2003 wurde im Moskau ein Workshop zum Stand der Arbeiten durchgeführt. Am 17.12.2003 fand bei der DBE in Peine ein Arbeitstreffen mit den russischen Kollegen zur Festlegung des Arbeitsprogramms 2004 statt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im Gegensatz zur ursprünglichen Planung sollen sich die Arbeiten auf das Krasnojarsker Gebiet konzentrieren. Die russischen Kooperationspartner sollen bis Ende Februar 2004 die verwendeten Daten überprüfen und gegebenenfalls ändern, da spätere Datenänderungen nicht mehr berücksichtigt werden können.

In diesem Jahr soll der Einfluss der durch die eingelagerten Abfälle verursachten Temperatur auf die Strömung berücksichtigt werden (Dichteeffekte). Hierzu werden Variationsuntersuchungen der wichtigsten hydraulischen Parameter durchgeführt. Anschließend werden aktualisierte Rechnungen zur Langzeitsicherheit für die verschiedenen Abfallfraktionen durchgeführt. An Hand der erreichten Ergebnisse werden die Langzeitsicherheit bewertet und Empfehlungen für die weitere Standorterkundung und -auswahl ausgesprochen. Die Ergebnisse werden dokumentiert.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Fahrenholz, C.; Brewitz, W.; Fein, E.; Schöniger, M.: Groundwater Flow Model for a Disposal Site in Granitic Massif. In Proc. Of International Conference on Groundwater in Fractured Rocks, 15.-19.9.2003, Prag.

Fahrenholz, C.; Brewitz, W.; Fein, E.; Schöniger, M.: Hydrogeological Modelling of a Potential Repository Site in Crystalline Rock in Siberia. Poster Eurosafe, 25.-26.11.2003, Paris.

Zuwendungsempfänger: TU Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2 a, 38670 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 9632
Vorhabensbezeichnung: Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2002 bis 28.02.2005	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 777.912,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Beschaffung von Bohrkernmaterial aus folgenden Lagerstätten:
 - Konrad, Schacht 1/2, Deutschland (Kernlager BGR),
 - Mont Terri, Schweiz (NAGRA, BLT-7/8/9),
 - Bure, Frankreich, (ANDRA, 3 Bohrkernproben, weiteres Material 2004 zugesagt),
- Konstruktion und Bau von Prüfständen für triaxiale Langzeitversuche mit Dilatanz- und Permeabilitätsmessung (Testphase für 1. Prüfstand erfolgreich durchgeführt, weitere Prüfstände folgen) sowie Nachrüstung bestehender Prüfanlagen zur Berücksichtigung von Porenwassereffekten (*Konstruktionsphase*),
- Abschluss der 1. Versuchsreihe zum Feuchtigkeitsänderungsverhalten von Tongestein unter definierten labortechnischen Bedingungen,
- 1. Zwischenbericht „Gesteinsmechanische Untersuchungen an Tonstein der Lokation Mont Terri“ (Ermittlung von Kriechparametern, Bruchfestigkeitsparametern)
- Auswertung der laufenden TC-Testreihe mit Tonstein aus Konrad, Planung weiterer Versuche entsprechend der Aufgabenstellung,
- Planung und Durchführung einer Testreihe von direkten Scherversuchen mit einem Felsrahmenschergerät mit Tonstein aus Konrad entsprechend der Aufgabenstellung,
- Planung und Durchführung einer laborativen Testreihe mit Tonsteinproben aus Bure entsprechend der Aufgabenstellung,
- Modifizierung des im Rahmen der Schädigungsmechanik entwickelten Stoffmodells *Hou/Lux* zur Anwendung auf Tongesteine,
- Übertragung des HM-Kopplungskonzepts zur Beschreibung der geomechanisch-geohydraulischen Wechselwirkungen im Tragwerk auf Tongestein,
- Implementierung des Stoffmodellansatzes für Tonstein und HM-Kopplung in MISES3.
- Erweiterung des FEM-Programmsystems MISES3 zur graphischen Darstellung der Permeabilitätsänderung im Rahmen der hydromechanischen Kopplung,
- Zusammenstellung von in der Literatur angegebenen Referenzbeispielen für die Analyse des Tragverhaltens von „Modelltragwerken“ zur Validierung des Stoffmodellansatzes,
- Durchführung und Auswertung von numerischen Modellberechnungen mit aus der Literatur abgeleiteten Eingabeparametern (Testmodell Schacht Konrad, Testmodell Bure),
- Durchführung von Verifikations- und Validationsberechnungen anhand von Literaturangaben sowie eigenen laborativen Untersuchungsergebnissen mit Eingabeparametervariation (Testmodell Schacht Konrad)

4. Geplante Weiterarbeiten

- Beschaffung von weiteren Tonsteinproben aus Bure in Frankreich (ANDRA) sowie aus Mont Terri in der Schweiz (NAGRA)
- Fertigstellung und Inbetriebnahme der geplanten Prüfstände für triaxiale Langzeitversuche mit Dilatanz- und Permeabilitätsmessung,
- Abschluss der laufenden TCc-Testreihe mit Tonstein aus Konrad, Planung und Durchführung weiterer Versuche entsprechend der Aufgabenstellung,
- Abschluss der laufenden TCc-Testreihe mit Tonstein aus Bure, Planung und Durchführung weiterer Versuche entsprechend der Aufgabenstellung/Probenverfügbarkeit,
- Auswertung der laufenden Scherversuch-Testreihe mit Tonstein aus Konrad, Planung und Durchführung weiterer Versuche entsprechend der Aufgabenstellung,
- Auswertung der laufenden Scherversuch-Testreihe mit Tonstein aus Mont Terri, Planung und Durchführung weiterer Versuche entsprechend der Aufgabenstellung,
- Erweiterung der numerischen Modellierung für die Analyse des Tragverhaltens von „Modelltragwerken“ auf das FDM-Programmsystem FLAC3D,
- Durchführung von Verifikations- und Validationsberechnungen, (Testmodell Schacht Konrad, Testmodell Bure, Testmodell Mont Terri)

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine	Förderkennzeichen: 02 E 9642
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur Endlagerung in Großbohrlöchern	
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2002 bis 31.12.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 221.141,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krone

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Abfallinventar und Abfallannahmekriterien

AP2: Technisches Barrierensystem – Versatzmaterialentwicklung

AP3: Einlagerungstechnik

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zu AP1:

Auf der Grundlage der von DBE TECHNOLOGY GmbH erarbeiteten Methodiken und der Ergebnisse einer vertieften Abfallcharakterisierung hat VNIPI Promtechnologii vorläufige Abfallannahmekriterien entwickelt. Die bessere Kenntnis der sicherheitsrelevanten Bestandteile der Abfälle, insbesondere der Anteil langlebiger Radionuklide und gasbildender Stoffe, ermöglichte es, realistischere Annahmekriterien zu formulieren. Hinsichtlich noch bestehender Defizite und offener Fragestellungen wurden Empfehlungen formuliert.

Zu AP2:

Gleichfalls an Hand einer von DBE TECHNOLOGY GmbH erarbeiteten Methodik zur umfassenden Qualifizierung des Versatzmaterials hat VNIPI Promtechnologii die Laborversuche mit einer optimierten Versatzmischung wiederholt. Nach Auswertung der vorgelegten Prüfberichte konnte festgestellt werden, dass die optimierte Versatzmischung wesentliche Anforderungen an einen langzeitstabilen und wasserdichten Versatz erfüllt. Darüber hinaus wurden Empfehlungen für seine gezielte weitere Qualifizierung und ggf. für die Fortsetzung der Optimierung formuliert. Ferner wurde der rechnerische Nachweis der Rissfreiheit für den Versatzkörper geführt.

Zu AP5:

Den von DBE TECHNOLOGY GmbH übergebenen Vorgaben folgend und auf der Grundlage der funktionellen Anforderungen an die Einlagerungstechnik hat VNIPI Promtechnologii die wesentlichen Bauteile entworfen und die konstruktiven Anforderungen spezifiziert, um eine sichere und zuverlässige Einlagerung der Abfallgebinde in ca. 100 m tiefe Bohrlöcher, sowie deren ausreichenden Versatz sicher zu stellen.

Die Ergebnisse des Projektes wurden im Abschlussbericht dokumentiert.

Hinsichtlich der drei Arbeitspakete wurden die methodischen Grundlagen für die weitere Bearbeitung entwickelt. Sie haben sich bei der Umsetzung durch VNIPI Promtechnologii zutreffend erwiesen und führten zur Erstellung

- eines präzisierten Abfallinventars,
- vorläufiger Abfallannahmekriterien,
- eines grundsätzlich langzeitstabilen und wasserdichten Versatzmaterials,
- der Entwürfe und der konstruktiven Anforderung an die bestimmenden Elemente der Einlagerungstechnik.

4. Geplante Weiterarbeiten

Es sind keine weiteren Arbeiten geplant, da das Projekt abgeschlossen ist.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- Project Inception Report, August 2002
- Progress Report No. 1 of September 30, 2002
- Progress Report No. 2 of December 17, 2002
- Progress-Report No. 2 of April 17, 2003
- Progress Report No. 3 of July 11, 2003

Zuwendungsempfänger: Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55099 Mainz		Förderkennzeichen: 02 E 9653
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 322.376,00 EUR	Projektleiter: Dr. Trautmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Kinetik des Komplexbildungsverhaltens von Plutonium(IV) mit Aldrich-Huminsäure wurde bei pH 1,8 studiert. Weiterhin wurde die Humatkomplexierung des Pu bei pH 1,8, 2,5 und 3 untersucht. Dabei wurde die Konzentration des Plutoniums von $7,3 \times 10^{-6}$ bis 6×10^{-9} mol/l variiert. Der Bau einer automatisierten Kapillarelektrophorese zur Kopplung an die ICP-MS wurde abgeschlossen. Es wurden zwei CE-LIF Apparaturen beschafft, die zum Einsatz kommen sollen.

Kaolinit KGa-1b wurde mittels IR-Spektroskopie, Pulverdiffraktometrie, Röntgenfluoreszenz und XPS untersucht. Die für das Ausgangsmaterial und die Korngrößenfraktion $< 2 \mu\text{m}$ erhaltenen Ergebnisse stimmen gut mit den Literaturdaten überein.

Zur Vorbereitung der Batch- und Speziationsexperimente mit Np-Kaolinit wurden in Abstimmung mit dem Institut für Radiochemie des Forschungszentrums Rossendorf zunächst Studien mit U(VI)-Kaolinit durchgeführt. In den Batchexperimenten variierte die Konzentration des Urans von $1 \cdot 10^{-6}$ bis $5 \cdot 10^{-5}$ mol/l und der pH-Wert von 3 bis 9.

Die Untersuchung der Kinetik der Pu-Humatkomplexierung zeigt, dass es bis zu einer Woche dauert, bis sich annähernd ein Gleichgewicht eingestellt hat. Unter Extrapolation des Deprotonierungsgrades α für pH 1,8 ergibt sich ein 1:1 Angebot an freien Komplexbildungsstellen an der Huminsäure und freien Ladungen des Plutoniums. Die Bestimmung der Loading Capacity, LC, bereitet noch Schwierigkeiten, so dass bisher keine zuverlässigen Werte für die Komplexbildungskonstante $\log \beta_{LC}$ angegeben werden können. Eine mögliche Erklärung ist eine Mitfällung von Plutonium und seiner Oligomeren-Spezies mit der Huminsäure bei diesem pH-Wert.

Die automatisierte CE-ICP-MS-Apparatur wurde erfolgreich ersten Funktionstests unterzogen.

Bei den mit EXAFS durchgeführten Speziationsuntersuchungen konnten erstmals Aluminium- bzw. Siliciumatome als Rückstreuer und damit die Bildung von innersphärischen Oberflächenkomplexen bei U(VI)-Kaolinit nachgewiesen werden.

Weiterhin wurde bei den EXAFS-Experimenten festgestellt, dass der Kaolinit KGa-1b eine deutliche Absorption im Bereich der Zr K-Kante (17998 eV) besitzt. Das kann bei den Speziationsuntersuchungen in dem System Np-Kaolinit zu Problemen bei der Auswertung der EXAFS-Spektren an der Np L_3 -Kante (17610 eV) führen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Versuche mit Pu bei niedrigen pH-Werten sollen mit GoHy-Fulvinsäure fortgeführt werden, um einen Mitfällungseffekt auszuschließen. Danach sollen die Untersuchungen mit Pu(IV) und GoHy-Fulvinsäure bzw. Aldrich-Huminsäure auf pH-Werte bis zu 7 ausgedehnt und mit Plutonium(III) ergänzt werden.

Die CE-ICP-MS soll zur Erweiterung der Messmöglichkeiten noch um einen Diodenarray-Detektor erweitert werden; die CE-LIF Messplätze werden in Betrieb genommen, wobei ein LIF-geeignetes Elektrolytssystem noch entwickelt werden muss.

Die Speziationsuntersuchungen mit EXAFS beim U(VI)-Kaolinit sollen vom 13.-17.03.2004 an der Rossendorf Beamline abgeschlossen werden. Weiterhin ist geplant, die Batchexperimente mit Np(V)-Kaolinit zu beginnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

B. Kuczewski, C.M. Marquardt, A. Seibert, H. Geckeis, J.V. Kratz, N. Trautmann:

Separation of Plutonium and Neptunium Species by Capillary Electrophoresis and Application to Natural Groundwater Samples, *Anal. Chem.* **75**, 6769 (2003)

Zuwendungsempfänger: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9663
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Entwicklung und Einsatz von Radiotracern für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 371.126,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kupsch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zielsetzung des Projektes besteht darin, den Einfluss von Huminstoffen auf die Fest-Flüssig-Verteilung mobilisierter Actiniden unter spezifischen Milieubedingungen zu charakterisieren, die durch potentielle Wirtsformationen (Ton, Granit) vorgegeben sind. Dabei werden verschiedenartige Huminstoffe in ihrer Wirkung verglichen. Besonderes Augenmerk wird auf die radioanalytische Vermessung des Einflusses von anthropogenen Kohlenstoffverbindungen und Fremdionen ($\text{Fe}^{2+/3+}$, SO_4^{2-}) gelegt. Die Auswirkungen dieser Faktoren auf die mobilitätsbestimmenden Elementarprozesse (Komplexbildung, Adsorption, Fällung) werden in Batch- und Säulenexperimenten quantitativ erfasst. Entwicklung und Einsatz von Radiotracern bieten einerseits den Zugang zu Messungen unter adäquaten Konzentrationsverhältnissen und gestatten andererseits orts aufgelöste Untersuchungen an geogenen Matrices unter Fließbedingungen mittels Positronen-Emissions-Tomographie. Durch Markierungsverfahren in Verbindung mit Trennmethode werden Wechselwirkungen innerhalb des Vielkomponentensystems gezielt untersucht. Das Projekt ist als Folgevorhaben von Projekt 02 E 9329 Bestandteil des Verbundvorhabens „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Status der Arbeitspakete:

- AP 1: Neubeprobung von aquatischen und Bodenuminstoffen, Aufarbeitung nach IHSS-Verfahren, elementanalytische Charakterisierung
- AP 3: Charakterisierung der Wechselwirkung von Huminsäure mit anionischen, kationischen und nichtionischen Tensiden als Repräsentanten anthropogener Organika anhand von radioanalytischen Verteilungsmessungen im Octanol-Wasser-System
- AP 5: Untersuchung des Flockungsverhaltens von Huminsäure bei Beladung mit Fe(III) im Vergleich mit anderen dreiwertigen Metallen (Batchuntersuchungen in Abhängigkeit von Metall- und Huminsäurekonzentration für pH 4 und pH 6)

Ergebnisse:

Die Gegenwart von Fe(III) in mikromolaren Mengen bewirkt eine Ausflockung von Huminstoffkolloiden. Da Eisen den häufigsten dreiwertigen Elektrolytbestandteil in natürlichen wässrigen Systemen darstellt, kann dieser Prozess im Hinblick auf den kolloidgetragenen Actinidentransport von Relevanz sein. Durch konzentrationsabhängige Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass der Flockungsvorgang durch Ladungskompensation an den Huminstoffkolloiden herbeigeführt wird und nicht auf Adsorption an Hydroxidpartikeln beruht, solange die Eisenkolloide in Lösung stabil sind. Aufgrund der Redoxsensitivität und der wässrigen Speziation des Eisens sind im Vergleich mit anderen dreiwertigen Metallen wesentlich höhere Konzentrationen zur Flockung erforderlich.

Anhand von Octanol-Wasser-Verteilungsversuchen mit radiomarkierter Huminsäure konnte der Nachweis erbracht werden, dass es zwischen geogenen und anthropogenen Kohlenstoffverbindungen in erheblichem Maße zu Wechselwirkungen kommt, die sich auf das Verhalten der Kolloide auswirken. Dabei wurden für anionische und kationische Tenside grundsätzlich verschiedene Arten der Mischaggregation identifiziert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Verfahrensentwicklungen zur Radiomarkierung von Huminstoffen mit PET-Nukliden (^{18}F , ^{86}Y)
- Adsorptionsuntersuchungen an Kaolinit mittels radiomarkierter Huminsäuren hinsichtlich Zeitabhängigkeit, pH-Abhängigkeit und Einfluss organischer Fremdkomponenten
- Untersuchung der pH-Abhängigkeit der Adsorption von ^{160}Tb Tb(III) an Kaolinit in An- und Abwesenheit von Huminsäure

5. Berichte, Veröffentlichungen

Lippold, H., Rößler, D., Kupsch, H.: „Investigations on the Influence of Trivalent Electrolytes on Complexation and Adsorption of Heavy Metals with Humic Substances by Means of Radioactive Tracers“, Abschlussbericht zum Projekt 02 E 9329, vorgesehen zur Veröffentlichung im Rahmen eines FZKA-Reports zum abgeschlossenen Verbundvorhaben „Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nicht radioaktiven Stoffen“

Zuwendungsempfänger: FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 9673
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 352.156,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Bernhard	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Erste Untersuchungen zur Synthese von Huminsäure-Modellverbindungen in Gegenwart von Kaolinit wurden durchgeführt. Zur Zeit erfolgt die Charakterisierung der Syntheseprodukte sowie des nach der Synthese isolierten Kaolinit.
- Unbehandelter sowie durch Kornfraktionierung im INE aufbereiteter (Bereitstellung durch Uni Mainz) Referenz-Kaolinit KGa1-b wurden mittels FTIR-Spektroskopie und XRD-Analyse charakterisiert. Die IR-Spektren beider Kaolinit-Chargen zeigen keine signifikanten Unterschiede. Sie stimmen gut mit Literaturdaten überein. Infolge der Aufarbeitung zeigen die XRD-Spektren der untersuchten Kaolinit-Proben geringfügige Unterschiede, die wahrscheinlich auf Unterschiede im TiO₂-Gehalt der Proben zurückzuführen sind. Weitere quantitative Analysen sind geplant.
- Als Grundlage für die geplanten Studien zum Einfluss von Huminsäuren auf die U-Sorption am Referenz-Kaolinit KGa1-b wurden erste U(VI)-Sorptionsuntersuchungen in Abwesenheit von Huminsäure durchgeführt. Die U(VI)-Sorption wurde in Abhängigkeit von der U(VI)-Konzentration, der Ionenstärke und vom pH-Wert untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die U(VI)-Sorption signifikant vom pH-Wert und der U-Konzentration beeinflusst wird.
- Durchführung FTIR-spektroskopischer Untersuchungen an U(VI)-Kaolinit-Sorbaten (Abstimmung mit Uni Mainz, EXAFS-Untersuchungen)
- Ausrichtung des Verbundprojekt-Workshops „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“ in Dresden (05.-06.11.2003)

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der Synthese von Huminsäuren in Gegenwart von Kaolinit; Charakterisierung der Syntheseprodukte (Huminsäuren, während der Synthese gebildete Huminsäure-Kaolinit-Sorbate)
- Erarbeitung von Verfahren zur Präparation stickstoffhaltiger Modellhuminsäuren und deren spektroskopischer Charakterisierung
- Untersuchung der U(IV)-Komplexierung durch Huminstoffe
- Untersuchung der Redoxstabilität von Np(V) in Gegenwart von Huminsäuren
- Erarbeitung eines Vorschlages zur vergleichbaren Durchführung von Sorptionsexperimenten (Batchversuche) durch alle Projektpartner (Abstimmung mit Uni Mainz und Saarbrücken)
- Fortführung der Sorptionsuntersuchungen am Referenz-Kaolinit KGa1-b; Ausweitung der Untersuchungen auf das Laborsystem U(VI)-Huminsäure-Kaolinit; Untersuchung der Huminsäure-Sorption am Kaolinit unter Einsatz 14C-markierter synthetischer Huminsäure Typ M42
- Vorbereitende Untersuchungen zur Durchführung von Diffusionsexperimenten im Laborsystem Kaolinit-Huminsäure-Wasser
- Laufende Aktualisierung der digitalen Huminstoff-Komplexierungs-Datenbank

5. Berichte, Veröffentlichungen

Sachs, S., Schmeide, K., Brendler, V., Křepelová, A., Mibus, J., Geipel, G., Heise, K.H., Bernhard, G.: Investigation of the Complexation and the Migration of Actinides and Non-Radioactive Substances with Humic Acids under Geogenic Conditions. Complexation of Humic Acids with Actinides in the Oxidation State IV Th, U, Np. Final Report, BMWA Project No.: 02E9299, Rosendorf, Germany, December 2003.

Zuwendungsempfänger: Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66041 Saarbrücken		Förderkennzeichen: 02 E 9683
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 260.584,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Beck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Nachdem saline Formationen in Vorgängerprojekten im Hinblick auf ihre Endlagerungskapazität untersucht wurden, soll nun die Möglichkeit der Endlagerung in Tonformationen überprüft werden.

Hierbei ist die Kinetik der Komplexbildung verschiedener Schwermetalle mit der Huminsäure, die repräsentativ für radiotoxische Nuklide ist, ein Schwerpunkt des Vorhabens. Der Einfluss von Konkurrenzreaktionen wie Ca, die in natürlichen Gewässern immer vorkommen, muss ebenfalls berücksichtigt werden. Vorhandene Erkenntnisse aus der Literatur zeigen, dass neben der Kinetik der Interaktion von Metall und Huminsäure unter natürlichen Bedingungen noch der Einfluss von kolloidal gebundenem Metall betrachtet werden muss. Diese Vorgänge sind im Hinblick auf eine Bewertung von Endlagersicherheit von besonderem Interesse, da das kolloidal gebundene Metall geologische Schichten ohne nennenswerte Retardation durchdringen kann. Eines der wichtigsten Ziele des beantragten Projektes soll daher die Entwicklung einer geeigneten Speziationsanalytik sein. Diese muss in der Lage sein, kinetische Informationen in einem sehr komplexen System aus Metall, Huminsäure und anorganischem Kolloid zu liefern.

Eine Zusammenarbeit besteht mit folgenden Einrichtungen: Institut für Nukleare Entsorgung des FZKA; Institut für Radiochemie des FZR; Institut für Kernchemie der J.-Gutenberg-Universität Mainz; Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung in Leipzig, der TU München und Universität Heidelberg.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Untersuchungen des Systems Huminsäure-Kaolinit (binäres System I):

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

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

Bei der Untersuchung des Systems Schwermetall-Huminsäure wird der Schwerpunkt der Arbeit bei der Untersuchung der Kinetik der Komplexbildung liegen. Hierbei soll sowohl der Einfluss der Konditionierung als auch der geochemischen Parameter wie pH, Ionenstärke und Wasserhärte (Ca, Mg-Gehalt) untersucht werden. Dabei müssen Methodenentwicklungen für die Langford-Methode und die CE-(LIF)-ICP-MS geleistet werden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Vorversuche zur Charakterisierung von Kaolinit am Modell des Aldrich-Kaolin zur Charakterisierung wurde eine Vielzahl von Methoden angewendet: TG-MS; XRF und XRD. Außerdem wurden die Oberflächenladung des Kaolin mittels PCD und die PEC analog zur Mehlich-Methode bestimmt. Diese Methoden stehen nun zur Routineanalytik für die Arbeiten mit dem Modellkaolin zur Verfügung und geben hilfreiche Einblicke in die neue Geomatrix.
- Die Wechselwirkung von Huminsäure und Kaolin wurde mittels NPOC-Messungen untersucht. Es zeigt sich hier die erwartete Abnahme der Huminsäureadsorption mit steigendem pH-Wert. Die Versuche sollen bei unterschiedlichen Parametern (Metallbeladung der HS, Ionenstärke der Lösung etc.) mit dem Modellkaolin durchgeführt werden.
- Untersuchungen zum Einfluss der Vorbehandlung auf die Größenverteilung wurden begonnen. Die Experimente sind noch in der Durchführung. Die Projektpartner werden über die Ergebnisse der Experimente wie auf dem Projekttreffen in Leipzig vereinbart gesondert informiert.
- Die benötigten Teile für die geplante CE-ICPMS Kopplung wurden angeschafft.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im Vordergrund steht im nächsten Berichtszeitraum die Installierung und Validierung der CE-ICP-MS-Kopplung sowie die Anschaffung eines optischen Detektors (LIF).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Investigations on the Complexation Behaviour of Humic Acids and their Influence on the Migration of Radioactive and Nonradioactive Substances under Conditions close to Nature; Final Report; Prof. Dr. H.P. Beck; Prof. Dr. H. Wagner; Dr. T. Gottfreund; Dipl. Chem. M. Zeitz; Wiss. Berichte FZKA, Forschungszentrum Karlsruhe, 2003, im Druck

Zuwendungsempfänger: TU München, Arcisstraße 21, 80290 München		Förderkennzeichen: 02 E 9693
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 327.328,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Rösch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

- Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe.
- Anwendung und projektspezifische Anpassung der relativistischen Dichtefunktionalmethode im Programmpaket PARAGAUSS.
- Untersuchung der Wechselwirkung für Huminstoffe typischer funktioneller Gruppen mit Actiniden.

Bezug zu anderen Vorhaben:

Teilprojekt im Verbund „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst folgende Arbeitspakete:

- AP1: Komplexe von Carbonsäuren und alternativer Funktionalitäten mit Actiniden
 AP2: Huminstoff-Modelle
 AP3: Methodische Arbeiten

Im Arbeitspaket (AP) 1 werden computerchemische Untersuchungen zur Komplexierung verschiedener Funktionalitäten mit Actiniden durchgeführt, die in AP 2 auf Huminstoff-Modelle erweitert werden. AP 3 umfasst projektspezifische methodische Arbeiten am Programmpaket PARAGAUSS.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP 1.1: Uranyl- und Uranylmonohydroxid-Monocarboxylate, Uranyltriacetat
 AP 1.2: Uranylmonocarboxylate der Glykolsäure, des Glycins, der Acrylsäure

In AP1 wurden quantenchemische Berechnungen an Uranylmonocarboxylaten $UO_2(OOCR)^+$ in der Gasphase durchgeführt, und zwar am Beispiel der aliphatischen Säuren Ameisen-, Essig- und Propionsäure (AP 1.1). Untersucht wurde die Komplexierung der deprotonierten Carboxylgruppen und deren bi- bzw. monodentate Koordination am Uranylion. Die Variation der Carbonsäure

zeigte einen geringen Effekt auf die Uranylcarboxylatbindung hinsichtlich Struktur und Bindungsstärke; die bidentate Koordination ist stabiler als die monodentate. Im Vergleich mit experimentellen Daten aus Kristallstrukturen und EXAFS-Untersuchungen zeigt sich allerdings eine deutliche Unterschätzung der Uranylcarboxylat-Bindungslängen. Außerdem ergibt sich eine zu kurze Uranylbindung, was sich in zu hohen Uranylschwingungsfrequenzen widerspiegelt. Analoge Berechnungen wurden für α -substituierte Carbonsäuren (OH, NH₂) und Acrylsäure hinsichtlich bidentater Koordination begonnen; sie zeigen vergleichbare Ergebnisse (AP 1.2).

Um die Abweichungen in der Gasphase zu erklären, wurden in einem nächsten Schritt Lösungsmittelleffekte durch Verwendung eines Modells auf der Basis eines polarisierbaren Kontinuums (PCM) und durch Einbeziehen expliziter Aqua-Liganden aus der ersten Koordinationssphäre des Uranyls berücksichtigt. Im Vergleich zu den Ergebnissen für die Gasphase zeigt sich insbesondere durch die Aqua-Liganden ein deutlicher Effekt, der zu einer Verlängerung der Uranyl- und Uranylcarboxylatbindungen führt. Diese Verlängerungen lassen sich durch die Bindungskonkurrenz am Uranzentrum erklären, die wegen der Aqua-Liganden erhöht ist. Die Übereinstimmung von Struktur und Schwingungsfrequenz mit den experimentellen Daten wird damit deutlich verbessert; trotzdem ist die Abweichung der Uranylcarboxylatbindungslänge signifikant größer als sonst üblich für die verwendete Rechenmethode (siehe unten, Uranyltriacetat).

Zur Aufklärung der Abweichungen vom Experiment wurde der mögliche Einfluss von Hydrolysereaktionen betrachtet. Dazu wurde die bidentate Koordination der Carboxylgruppen am Beispiel von Uranylmonohydroxid – dem ersten Uranyl-Hydrolyseprodukt – untersucht. Aufbauend auf die vorherigen Ergebnisse wurden das PCM-Modell und explizite Aqua-Liganden berücksichtigt. Dadurch konnte die Übereinstimmung mit den experimentellen Daten für die Uranylcarboxylatbindung deutlich verbessert werden.

Zur Validierung der verwendeten Methode wurde der experimentell gut erfasste Uranyltriacetatkomplex $\text{UO}_2(\text{OOCCH}_3)_3^-$ untersucht. PCM-Berechnungen zeigen geringe Abweichungen der Uranylcarboxylatbindung und eine gute Übereinstimmung der Uranylschwingungsfrequenz. Durch die Simulation von Wasserstoffbrücken mittels Wassermolekülen aus der zweiten Koordinationssphäre des Uranyls konnte die Übereinstimmung von Struktur und Frequenz mit dem Experiment weiter verbessert werden. Damit wurden die Aussagen über die Genauigkeit der angewendeten Methode bestätigt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP 1.1: Berechnungen weiterer Uranyl- und Uranylhydroxid-Carboxylate, Erweiterung auf Neptunyl(V); Verbesserung der Modelle der Hydratationshülle.
- AP 1.2: Untersuchung weiterer nichtaliphatischer Carbonsäuren, z.B. Glykol-, Salicyl- und Malonsäure, alternative Koordinationsmodelle.
- AP 1.3: Andere Funktionalitäten: Phenolische und alkoholische OH-Gruppen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

F. Schlosser, S. Krüger, N. Rösch, Computational models for environmental chemistry: actinide binding and solvent effects in uranyl carboxylates. A Density functional study. In Vorbereitung

Zuwendungsempfänger: Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 69047 Heidelberg		Förderkennzeichen: 02 E 9703
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 243.084,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Grunze	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist eine detaillierte Prozessaufklärung einerseits hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen dem Cm^{3+} Ion und Huminsäure sowie hinsichtlich der Wechselwirkung von Huminsäure mit Tonmineraloberflächen und dem Einfluss der sorbierten Huminsäure auf die Tonmineralwechselwirkung mit Actinidionen.

Hierzu sollen folgende Teilaspekte untersucht werden: (i) Bestimmung der Stabilität und der photodynamischen Eigenschaften von Huminsäure bei Variation der Temperatur, (ii) Bestimmung der Sättigung von Humatliganden mit Tb^{3+} bei verschiedenen Temperaturen und (iii) Untersuchung des Komplexyungsverhaltens von Cm^{3+} , einschließlich Verteilung zwischen verschiedenen kinetischen Zuständen.

Im Rahmen des Verbundprojekts besteht schwerpunktmäßig eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe sowie dem Institut für Chemie (Arbeitsgruppe Physikalische Chemie) der Universität Potsdam.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- (i): Bei verschiedenen Temperaturen und Standzeiten aufbewahrte Huminsäurelösungen werden mittels UV/Vis-Spektroskopie untersucht, um mögliche Irreversibilitäten oder langsame kinetische Prozesse zu charakterisieren. Zusätzlich werden solche möglichen Veränderungen mittels zeitaufgelöster Fluoreszenzspektroskopie untersucht
- (ii): Die Sättigungswerte der Humatliganden mit den untersuchten Metallionen werden sowohl mittels Ultrazentrifugation als auch direkt mittels TRLFS bestimmt. Es werden auch eventuelle kinetische Einflüsse bei erhöhter Reaktionstemperatur und bei verschiedenen Kontaktzeiten untersucht.
- (iii): Das Komplexbildungsverhalten von Cm^{3+} wird bei konstanter Curiumkonzentration und bei variierender Temperatur auf Reversibilität/Kinetik mittels TRLFS untersucht. Proben mit Cm-Humat, die über verschiedene Zeiträume bei verschiedenen Temperaturen aufbewahrt worden sind, werden mittels Kationenaustausch bei der jeweiligen Temperatur hinsichtlich der Besetzung von verschiedenen kinetischen Zuständen/Modi charakterisiert.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Obwohl das Projekt aufgrund der bei der Stellenbesetzung aufgetretenen Verzögerungen formal erst zum 1. Dezember 2003 begonnen hat, wurden die Arbeiten in Form einer Kooperation mit INE und der Universität Zypern bereits aufgenommen. Dabei stellte sich heraus, dass ab einer Temperatur von 60 °C irreversible Veränderungen in den UV/Vis-Spektren der Huminsäure auftreten. Diese Ergebnisse werden unterstützt durch die massenspektroskopische Bestimmung von Austragsprodukten, die als Funktion der Temperaturerhöhung an trockener Huminsäure vorgenommen wurde. Aus diesen Untersuchungen ergibt sich, dass thermodynamische Studien zur Komplexbildungsreaktion mit Huminsäure bis maximal 60 °C sinnvoll sind, da sonst eine Überlagerung mit Veränderungen der Huminsäure stattfindet. Weiterhin bestätigen diese Ergebnisse, dass - wie auch in der Projektbeschreibung vorgesehen - die Photodynamik der Huminsäure in Abhängigkeit der Temperatur untersucht werden muss. Da zurzeit weder an der Universität Heidelberg noch am INE ein Fluoreszenzsystem mit ausreichender Zeitauflösung vorhanden ist, soll die Photodynamik der Huminsäure in Kooperation mit einem anderen Projektpartner durchgeführt werden. Dazu ist, wie im genehmigten Antrag vorgesehen, ein zwei- bis dreiwöchiger Aufenthalt an der Universität Potsdam geplant.

4. Geplante Weiterarbeiten

Mit Lieferung des beantragten und genehmigten Schwingquarzsensors (Q-Sense-Mikrowaage der Fa. LOT) Ende Februar 2004 soll mit der gravimetrischen Quantifizierung und Charakterisierung sorbierter Huminsäure begonnen werden. Hierbei wird die isolierte und gereinigte Huminsäure Gohy-573/II(HA) eingesetzt. Als Tonmineralmodelloberflächen finden 110 und 001 Kristallflächen von monokristalinem Saphir Verwendung. Die Aluminolgruppen an diesen Oberflächen beschreiben Hauptfunktionen an den aktiven Kanten von Tonmineralien. Die Methode erlaubt In-Situ-Messungen von sorbierten Substanzen, einschließlich Hydratwasser.

Ergänzend zu diesen Messungen wird die Hydrathülle von freien und durch Huminsäure/Fulvinsäure komplexierten dreiwertigen Ionen (Eu^{3+} und Cm^{3+}) untersucht. Versuche in H_2O und D_2O sollten die Möglichkeit eröffnen, den Quencheinfluss der organischen Liganden auf die Fluoreszenzemission der Metallionen zu quantifizieren. Diese Information soll dann genutzt werden, um die Koordination von Cm(III) und Eu(III) sowie den Hydratisierungszustand nach der Komplexbildung mit der Humin/Fulvinsäure zu bestimmen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Da mit dem Vorhaben erst kürzlich begonnen wurde, liegen noch keine Veröffentlichungen vor.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9713	
Vorhabensbezeichnung: Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager, - SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor, Vorprojekt			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2003 bis 30.06.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 766.227,00 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Rothfuchs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Für die Optimierung der Verschlusskörper für Endlager werden im Labor das Aufsättigungsverhalten, die sich einstellenden Quelldrücke sowie die Gas- und Wasserpermeabilitäten von verschiedenen Ton/Mineral-Gemischen ermittelt. Im Technikum werden die geplanten In-situ-Einbautechniken und die Messtechnik überprüft. Im Untertagelabor Mont Terri werden in einem Versuchsfeld die in situ erreichbaren Einbaudichten, Wassersättigungen in Wechselwirkung mit dem umgebenden Gebirge, die resultierenden Quelldrücke sowie die Ein- und Zweiphasenflussparameter bestimmt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1: Laboruntersuchungen sowie Auslegungs- und Modellrechnungen.

In diesem Arbeitspaket, das bei der GRS in Braunschweig durchgeführt wird, sollen aufbauend auf die bisherigen Untersuchungen geeignete Verschlussmaterialien für Endlager in Tonformationen ausgewählt, Einbringtechniken getestet, Materialparameter bestimmt, Dichtigkeitstests sowie Auslegungs- und Modellrechnungen vorgenommen werden.

AP 2: Technikums- und In-situ-Untersuchungen.

Die Arbeiten werden im Untertagelabor Mt. Terri durchgeführt. In 6 bis 8 instrumentierten Bohrlöchern werden an den im Labor ausgewählten Ton/Mineral-Gemischen die Einbringtechnik, die Gas- und Wasserpermeabilitäten, die Gasdurchbruchsdrücke im wassergesättigten Zustand und die Zweiphasenflussparameter in Wechselwirkung mit dem umgebenden Gebirge untersucht. Zum Test der Einbring- und Verdichtetechniken werden in einem Technikum entsprechende Vorversuche durchgeführt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

API:

- Bestimmung der Gas- und Wasserpermeabilitäten sowie der Quelldrücke und Gasdurchbruchdrücke vor und nach Kompaktion von Ton/Sand-Mischungen der Verhältnisse 35/65, 50/50 und 70/30. Die Ergebnisse der Gaspermeabilitäten vor der Kompaktion der Ton/Sand-Mischungen wurden bereits im vorherigen Bericht dargestellt. Die Wasserpermeabilitäten nahmen mit steigendem Tongehalt ab und lagen je nach Tonanteil bei $9 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$ (35/65), $1,8 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$ (50/50) und $6 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$ (70/30). Die ohne vorherige Kompaktion bestimmten Gasdurchbruchdrücke betragen bei den Mischung 35/65 und 50/50 ca. 0,4 MPa und 1 MPa bei der Mischung 70/30. Nach Kompaktion der Proben mit einem Druck von 5 MPa wurden Wasserpermeabilitäten von $1,5 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$ (35/65), $3,1 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$ (50/50) und $6,5 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$ (70/30) ermittelt. Die Gasdurchbruchdrücke lagen bei 2,4 MPa (35/65) und bei ca. 10 MPa (70/30). Die Ermittlung der Quelldrücke befindet sich in der Auswertung. Aufgrund der hydraulischen Parameter und unter Berücksichtigung modellmäßiger Abschätzungen der Aufsättigungsdauer soll für den Technikumsversuch das Gemische 35/65 verwendet werden. Die endgültige Auswahl des Dichtmaterials für den In-situ-Versuch wird nach Abschluss des Technikumsversuchs getroffen.
- Untersuchung des drucklosen Aufsättigungsverhaltens der Ton/Sand-Mischungen. Die Untersuchungen zum Verlauf der Aufsättigung dauern zum Teil noch an und werden nach Abschluss der Versuche zusammenschauend ausgewertet.
- Untersuchungen zur Wasseraufnahme an Ton/Sand-Schüttungen im Exsikkator. Die Bestimmung des Wasseraufnahmeverhaltens an Ton/Sandschüttungen im Exsikkator wird fortgesetzt.
- Durchführung von Rüttelversuchen an Ton/Sand-Mischungen 35/65, 50/50 und 70/30 in großmaßstäblichen Rohren zur Ermittlung der Einbaudichte. Die Rüttelversuche in großmaßstäblichen Rohren ergaben, dass die Einbaudichte deutlich vom Tongehalt abhängt. Mit $1,78 - 2,04 \text{ g/cm}^3$ wies die Mischung mit dem niedrigsten Tonanteil (35/65) die höchste Einbaudichte und die Mischung mit dem höchsten Tonanteil (70/30) mit $1,45 \text{ g/cm}^3$ die niedrigste Einbaudichte auf. Bei der Mischung mit einem mittleren Tongehalt von 50 % lag die Einbaudichte zwischen $1,59$ und $1,72 \text{ g/cm}^3$. Die Versuche lassen erwarten, dass sowohl in den Technikums- als auch in den In-situ-Versuchen die erforderliche Einbaudichte erreicht werden kann.

4. Geplante Weiterarbeiten

API:

- Untersuchungen zum Aufsättigungsverhalten an den 3 Ton/Sand-Mischungen unter einem Injektionsdruck von 1 MPa.
- Wiederholung der hydraulischen Untersuchungen an den 3 Ton/Sand-Mischungen zur Datenabsicherung.
- Ermittlung der Kapillardruck- und der relativen Permeabilitätskurven für Gas.
- Planung und Aufbau des Technikumsversuchs

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9723
Vorhabensbezeichnung: Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.063.543,00 EUR		Projektleiter: Dr. Moog

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Radiolyse: Durchführung einer Literaturstudie. Ergebnis: Die zur radiolytischen Gasbildung zusammengestellten G-Werte legen nahe, dass die bisherige Parametrisierung in LOPOS bzw. REPOS, die noch auf frühere Modellierungen zurückgeht, die tatsächliche Gasbildung deutlich überschätzt. Die bestehenden Modelle, die die chemischen Reaktionen bei der Radiolyse mit unterschiedlichem Erfolg abbilden, sind zu detailliert und zu spezifisch an das jeweilige Laborsystem angepasst, um zum gegenwärtigen Zeitpunkt in Programmen der Langzeitsicherheitsanalyse berücksichtigt zu werden. Da diese Vorgänge aber die Freisetzung der Radionuklidinventare aus den Abfallbinden beeinflussen, ist ein umfassender Überblick über die Strahlenchemie im Nahfeld und deren für die Langzeitsicherheitsanalyse geeignete Modellierung in Zukunft wünschenswert.

EQLINK: Erweiterung der Datenbasis um gasförmige Systemkonstituenten und diesbezüglich Änderung von Programmen (Initialisierungsprozedur von CHEMAPP).

CHEMAPP: Auftragsvergabe und Beginn der Arbeiten zur Modifikation des Quellcodes. Inhalte: Einbau der Parameter alpha-1 und alpha-2 in das Pitzer-Modell von CHEMAPP, damit zukünftig deren Einlesbarkeit und Modifikation über die Datenbasis gewährleistet ist. Möglichkeit der Variation von Gibbs-Energie-Parametern zur Laufzeit. Erweiterung des Quellcodes von CHEMAPP, um Reaktionen mit Wasserverbrauch numerisch und thermochemisch korrekt zu Ende führen zu können.

4. Geplante Weiterarbeiten

Datenbasis: Erweiterung um Cm, Erstellung einer neuen Datenbasis für CHEMAPP, basierend auf der thermodynamischen Standarddatenbasis von Nagra/PSI.

EQLINK: Erweiterung, um Lösungsdichten berechnen und somit Volumenbilanzen erstellen zu können.

EMOS: Beginn der Arbeiten zur Änderung des Codes von LOPOS.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9733	
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 748.584,00 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In dem Vorhaben soll untersucht werden, inwieweit der Wärmeeintrag durch die Einlagerung radioaktiver wärmeentwickelnder Abfälle in Einlagerungsfelder in einer Tonformation die Verformung von Hohlräumen sowie deren thermische Verhältnisse während der Betriebsphase des Endlagers beeinflusst. Ausgegangen werden soll von einer realitätsnahen zeitlich gestaffelten Einlagerung. Dabei soll insbesondere die unterschiedliche Wirkung einer Bohrlochlagerung gegenüber der einer Streckenlagerung im Tongestein detailliert untersucht und der jeweilige Mindestraumbedarf ermittelt werden. Ergänzend soll der Druckaufbau durch Gasbildung abgeschätzt und der Einfluss auf die mechanische Entwicklung quantifiziert werden.

Neben der Ermittlung des Raumbedarfs und einer detaillierten Grubengebäudeplanung werden auch die Kosten für die unterschiedlichen Konzepte der Bohrloch- und Streckenlagerung abgeschätzt. Abschließend wird ein Vergleich mit anderen Planungskonzepten durchgeführt um die erzielten Ergebnisse vergleichend bewerten zu können.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Um für die sicherheitstechnische Auslegung eines generischen Endlagers im Wirtsgestein Ton in Deutschland einen realitätsnahen Bezug herzustellen, beziehen sich alle Untersuchungen auf die Regionen in Deutschland, die potenziell für einen Endlagerstandort geeignet erscheinen. Anhand der Voruntersuchungen der BGR kommen dafür die Unterkreide-Tone im Norddeutschen Becken sowie die Jura-Tone, hier im speziellen der so genannte Opalinuston, im Süddeutschen Molassebecken in Frage.

Auf Basis aller zugänglichen geologischen Informationen und unter Berücksichtigung der Auswahlkriterien des AKEnd wurde zunächst für den süddeutschen Raum das potenziell geeignete Gebiet weiter regional eingegrenzt. In diesem Zusammenhang wurde eine erste Karte der Mächtigkeiten des Opalinuston im süddeutschen Raum erstellt anhand derer sich regionale Einschränkungen erkennen lassen.

Für die ausgewiesene Region wurden im Berichtszeitraum, so weit möglich, regionalspezifische Datensätze zusammengestellt, die als Eingangsparameter für die modelltheoretischen Untersuchungen dienen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Auf Basis der zusammengestellten Daten wird im folgenden Berichtszeitraum ein konzeptuelles Modell für die ausgewiesene Region in Süddeutschland entwickelt und ein erstes Computermodell für die numerischen Berechnungen aufgebaut und getestet.

Analog zu den Arbeiten für den süddeutschen Raum wird auch für den Bereich des Norddeutschen Beckens die geologische Situation beschrieben und ein entsprechendes geologisches Modell als Berechnungsgrundlage erstellt.

Soweit möglich werden für die Region in Norddeutschland regionalspezifische Daten und Parameter zusammengestellt und daraus ein konzeptuelles Modell entwickelt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9743	
Vorhabensbezeichnung: Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2003 bis 30.06.2008		Berichtszeitraum: 01.08.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 544.748,00 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Nach der Installation erfolgt eine kontinuierliche Erfassung und Dokumentation der Messdaten. Die Aufsättigung des Barrierematerials wird rechnerisch simuliert und mit den gemessenen Drucken analysierend verglichen. Es ist geplant, die Sensoren rückzuholen und abschließen hinsichtlich ihrer langzeitlichen Einsetzbarkeit in Barrierematerial zu analysieren.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Projektmanagement
2. Messtechnische Datenerfassung
3. Modelltheoretische Versuchsbegleitung
4. Rückholung und Nachanalyse der Mess-Systeme
5. Berichtswesen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden vorgefertigte, teils mit Titangehäuse versehene, faseroptische Druck-, Porenwasserdruck und Temperatursensoren im Untertagelabor in Äspö im Rahmen der Versuche:

- a) Temperature-Buffer-Test (TBT) und
- b) Prototype Repository

installiert. Bei den Versuchen handelt es sich in beiden Fällen um Einlagerungsversuche in Bohrlöchern im Maßstab 1:1 unter Anwendung elektrischer Erhitzer. Die Instrumentierung der faseroptischen Sensoren erfolgte innerhalb des jeweiligen die Behälter umgebenden Buffer-Materials (Bentonit bzw. Sand-Bentonit). Eingerichtet wurde eine Datenfernübertragung, die sowohl die regelmäßige Abfrage und Übertragung von Messdaten ermöglicht, als auch eine Fernwartung der Datenerfassungs- und Kontrollsoftware.

4. Geplante Weiterarbeiten

Kontinuierliche Erfassung und Analyse der Messdaten in beiden Versuchen.

Regelmäßige Überprüfung und Wartung des Mess-Systems.

Entwicklung eines konzeptuellen Modells für die Versuche als Grundlage für die geplanten versuchsbegleitenden Modellierungen der thermo-hydro-mechanischen Prozesse innerhalb des Buffer-Materials.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9753
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracern		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2003 bis 31.07.2006	Berichtszeitraum: 01.08.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 413.581,00 EUR	Projektleiter: Dr. Richter	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Literaturlauswertung zum geochemischen Verhalten verwitterter granitischer Oberflächen und des Füllmaterials der Klüfte.
- Aufstellung eines Versuchsplans zur Untersuchung des Wechselwirkungsverhaltens potentieller PET-Tracer für hydrodynamische Messungen im klüftigen Granit.
- Untersuchungen zur Eignung spezieller Tracerverbindungen von Cu-64 bzw. Co-58
- Weiterentwicklung der Software zur quantitativen Bildrekonstruktion und -auswertung

4. Geplante Weiterarbeiten

- Synthese spezieller Tracerverbindungen
- Batchtests zum Tracerverhalten an Granitoberflächen und granitischen Verwitterungsprodukten
- Anpassung der Hochdruckversuchsanlage für Messungen an Granitbohrkernen
- Hardware- und Softwareweiterentwicklung der PET- Messtechnik

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: TU München, Arcisstraße 21, 80290 München		Förderkennzeichen: 02 E 9763
Vorhabensbezeichnung: Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2003 bis 31.10.2006	Berichtszeitraum: 01.11.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 491.930,00 EUR	Projektleiter: 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 Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK-INE) durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In diesem Vorhabenszeitraum wurde der Schwerpunkt „Actinide im kolloidalen Zustand durch Bindung an Aluminosilicat-Kolloiden“ innerhalb der Arbeitspakete I, II und III weiter bearbeitet und mit bereits erreichten Ergebnissen im Zusammenhang gebracht:

Aluminosilicat-Kolloide wurden durch Conukleation von Si(IV) und Al(III) unter optimalen Bedingungen von pH, Konzentration von Al und Si (Si-Monomere und Si-Oligomere) sowie Reaktionszeit, synthetisiert mit dem Ziel, die Actinid-Kolloid-Wechselwirkung zu untersuchen. Dabei wurde am Beispiel Np-237(V) untersucht, ob Actinide mit einer Oxidationsstufe, die sich von der des Al bzw. Si unterscheiden, noch inkorporiert werden können. Kolloide in statu nascendi wurden zunächst eingesetzt.

Es wurde gezeigt, dass fünfwertige Actinide unter den untersuchten Bedingungen kaum in Aluminosilicat-Kolloiden eingebaut werden. Solche Actinide sind deshalb besonders geeignet um andere Möglichkeiten der Actinid-Stabilisierung, wie z. B. Bindung an Huminsäure bzw. an Anorgano-Huminkolloiden zu untersuchen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Folgende Arbeiten innerhalb der Arbeitspakete I, II und III des Fortsetzungsvorhabens sind geplant:

AP(I) und AP(II):

Vergleichende Untersuchungen über die Möglichkeit der Inkorporation von drei-, vier-, fünf- und sechswertigen Actiniden bzw. Eigenkolloiden (Am(III), Cm(III), Th(IV), Pu(IV), Np(V), U(VI) in Aluminosilicat-Kolloiden

Fortsetzung der Untersuchung des Einflusses von begleitenden Grundwasserbestandteilen wie Ca²⁺, Fe^{2+/3+}, Huminsäure, etc. auf die Bildung und Stabilität von Aluminosilicat-Kolloiden bzw. auf deren Wechselwirkung mit drei-, vier-, fünf- und sechswertigen Actiniden

AP(III):

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

„Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi“

Vortrag bei der 8th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere, Bregenz, Österreich (2001) und Vortrag bei der GDCh-Jahrestagung Chemie 2001, Würzburg (2001)

„Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi

Part I: Generation and Characterization of Americium-Pseudocolloids“

Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Eng. Aspects 216 (2003) 97-108

„Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi“

Part II: Spectroscopic Speciation of Aluminosilicate colloid-borne Cm(III)

Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Eng. Aspects 227 (2003) 93-103

Postervortrag bei der 9th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere, Gyeongju, Korea (2003)

Vortrag bei der GDCh-Jahrestagung Chemie 2003, München (2003)

„Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi

Part III: The Colloid Formation by Mono-Silanol and Oligo-Silanol“

Vortrag bei der 9th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere, Gyeongju, Korea (2003)

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9773	
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2003 bis 30.06.2006		Berichtszeitraum: 01.08.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.015.143,00 EUR		Projektleiter: Dr. Zhang	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die französische Endlagerorganisation ANDRA wird in den nächsten drei Jahren einen Aufheizversuch im Mt. Terri Untertagelabor zur Simulation der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle durchführen. Der Versuch bietet wegen seiner einfachen Auslegung eine gute Möglichkeit, die gegenwärtig verwendeten THM-Materialmodelle und Computerprogramme durch vergleichende numerische Simulation von In-situ-Versuch und Laborexperimenten zu überprüfen bzw. zu kalibrieren. Darüber hinaus bietet sich die Möglichkeit, an der Erprobung von Messsonden teilzunehmen und speziell entwickelte Porendruck-Messsonden im Vergleich zu anderen Sonden zu erproben bzw. zu qualifizieren.

Durch orientierende Untersuchungen der advektiven Gasmigration in der Erhitzerumgebung kann der Frage nachgegangen werden, ob sich durch die Aufheizung eine erhöhte Durchlässigkeit des Gebirges durch Austrocknung ergibt, die in Sicherheitsanalysen des Endlagers zu berücksichtigen wäre.

Durch die Ergebnisse werden die Grundlagen für die Arbeiten zur Errichtung des Endlagers verbessert und der Vertrauensgrad des erforderlichen Sicherheitsnachweises gesteigert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- a) Laboruntersuchungen zur Bestimmung des THM-Verhaltens des Opalinuston:
 - THM-Oedometerversuche an Tonproben von D/L = 50/50 mm
 - THM-Triaxialversuche an Tonproben von D/L = 50/100 mm
 - THM-Simulationsversuche an Großenkernproben von D/L = 280/600 mm
- b) In-situ-Porenwasserdruckmessungen
- c) In-situ-Gasmigrationsmessungen
- d) Modellrechnungen für Planung und Analyse des In-situ-Versuches
- e) Erstellung des Abschlussberichtes.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Labor

Zur Bestimmung des THM-Verhaltens des Opalinustons sind Oedometer- und Triaxialversuche an normalen Kernproben aus dem In-situ-Testfeld durchzuführen. Zur Prüfung der Übertragbarkeit der Laborergebnisse von normalen Kernproben auf In-situ-Verhältnisse ist ein THM-Simulationsversuch an einer Großkernprobe (300 mm Durchmesser) aus der Erhitzerbohrung vorgesehen. Dabei werden gekoppelte THM-Prozesse in der Großkernprobe unter vergleichbaren Bedingungen wie beim In-situ-Versuch mit unterschiedlichen Instrumenten beobachtet. Bislang sind 14 Kernproben kleiner Abmessungen aus dem In-situ-Testfeld entnommen worden. Für sämtliche Versuche wurde ein Laborversuchsplan erstellt. Alle Versuche befinden sich in der Vorbereitungsphase.

In-situ-Messungen

(a) Zur Messung der Porenwasserdruck- und der Temperaturverteilung wurden senkrecht zur geplanten Erhitzerbohrung (oberhalb und unterhalb der beiden Erhitzer HE-1 und HE-2) zwei Messarrays mit insgesamt 11 Bohrungen angelegt. Die zwischen 0,5 m und 10,5 m langen Bohrungen wurden mit Minipackersystemen bestückt. Das Messintervall der nur 20 mm durchmessenden Bohrungen wurde mit Kunstharz abgedichtet. Nach Sättigung der Messintervalle werden die Drücke seit Ende 2003 aufgezeichnet.

(b) Zur Bestimmung der Gasmigration wurden senkrecht zur Erhitzerbohrung insgesamt sechs horizontale Bohrungen von etwa 10 m Tiefe angelegt. In jede Bohrung wurde ein speziell entwickeltes 4-fach Packersystem installiert.

Modellrechnungen

Für die Planung des In-situ-Versuchs wurden mit CODE-BRIGHT gekoppelte THM-Modellrechnungen durchgeführt. Die erzielten hydraulischen und mechanischen Ergebnisse stimmen gut mit Daten aus bisherigen In-situ-Beobachtungen im Mont Terri Untertagelabor überein. Prognoserechnungen zeigen sowohl im Jahr der Aufheizung auf 100°C bzw. 150°C als auch bei der nachfolgenden 6-monatigen Abkühlung auf 17°C einen deutlichen Einfluss der thermischen Effekte auf das hydro-mechanische Verhalten des Opalinuston.

4. Geplante Weiterarbeiten

- (a) Durchführung der THM Oedometer- und Triaxialversuche
- (b) Vorbereitung und Testen der Versuchssysteme für den THM-Versuch an Großproben
- (c) Messungen der Porenwasserdrücke und Temperaturen im In-situ-Versuch
- (d) Messungen der Gasmigration im In-situ-Versuch

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9783
Vorhabensbezeichnung: Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 31.12.2006	Berichtszeitraum: 01.09.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 475.000,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Brewitz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten in den ersten drei Monaten des Projektes erfolgten alle im Rahmen des AP1:

- Es wurden weiterführende Gespräche mit dem Auftragsgeber hinsichtlich der durchzuführenden Arbeiten geführt.
- Die inhaltliche Gliederung des Handbuches wurde verfeinert.
- Eine Vorfestlegung der Formate wurde getroffen.
- Erste Arbeiten wurden einzelnen Fachabteilungen zugewiesen.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Binzengrün 34 a, 79038 Freiburg		Förderkennzeichen: 02 E 9793
Vorhabensbezeichnung: Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 31.12.2006	Berichtszeitraum: 01.09.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 475.000,00 EUR	Projektleiter: Sailer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Vorbereitende Technische Arbeiten

Verhandlungen mit Verlagen, Festlegung des Druckformats, Entscheidungen zu Einbindung von Bildmaterial, Feingliederung und Definition von Schnittstellen, Ansprache möglicher Autoren, Terminplan zu Einzelkapiteln etc.

AP2: Erarbeitung von Einzelbeiträgen und Hauptkapiteln

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

AP3: Arbeiten zur Drucklegung und Herausgabe

Zusammenstellung der Druckvorlage, Berichterstattung zur Entwurfsabnahme durch Auftraggeber, Endredaktion, Absprachen mit Verlag, Vorbereitung und Durchführung von PR-Maßnahmen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Jahr 2003 wurden vorbereitende technische Arbeiten geleistet. Dies beinhaltete diverse Gespräche mit dem Auftraggeber bzgl. der durchzuführenden Arbeiten, die Modifizierung der Gliederung sowie die Verteilung der Arbeiten auf die beiden beauftragten Organisationen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Zu den jeweiligen Themenbereichen werden relevante Literaturstellen und Schlagwörter gesammelt, die im Glossar beschrieben werden. Die Inhalte der einzelnen Unterkapitel werden stichpunktartig dargestellt (s. AP1 und AP2).

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		Förderkennzeichen: 02 E 9803
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2003 bis 31.10.2006	Berichtszeitraum: 01.11.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 691.684,00 EUR	Projektleiter: Frau Dr. Curtius	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP2: Remobilisierung von Radionukliden aus Korrosionsrückständen

AP3: Sorptions- und Inkorporationsuntersuchungen mit endlagerrelevanten Radionukliden an Hydrotalkiten

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zu AP1: Planungsphase zur Durchführung der Auslaugexperimente in den Heißen Zellen ist abgeschlossen.

Zu AP2: noch keine.

Zu AP3: Mit ersten Synthesen zur Herstellung von Mg/Al-Cl-Hydrotalkiten ist begonnen worden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Zu AP1: Beschaffung, Montage und Einbau der Autoklavsysteme in den Heißen Zellen. Durchführung von Korrosionsexperimenten mit unbestrahltem Brennstoff in endlagerrelevanten Wässern.

Zu AP2: Versuchsaufbau in der Heißen Zelle zur Remobilisierung von Radionukliden aus den Korrosionsrückständen.

Zu AP 3: Nach erfolgreicher Synthese und Beschreibung des vorliegenden Mg/Al-Cl-Hydrotalkites soll mit Sorptionsuntersuchungen begonnen werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9813
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2003 bis 31.01.2007	Berichtszeitraum: 01.11.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 813.232,00 EUR	Projektleiter: Dr. Rübél	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Arbeitspaket 1 wird das konzeptionelle und numerische Modell für Tonformationen entwickelt. Dabei werden die Rechenprogramme GRAPOS, CHETMAD und r3t weiterentwickelt und angepasst.

Im Arbeitspaket 2 werden die Rechenprogramme verifiziert und validiert. Dazu werden analytische Fälle natürliche Spurenstoffprofile und Bohrlochversuche nachgerechnet.

Im Arbeitspaket 3 wird eine Systemstudie durchgeführt. Dabei werden Szenarien definiert und anschließend Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit durchgeführt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Keine. Das Projekt wurde noch nicht begonnen, da für das Jahr 2003 keine Mittel zur Verfügung stehen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Beginn der Erstellung der konzeptionellen und numerischen Modelle.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

2.2 C-Vorhaben

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 C 0689
Vorhabensbezeichnung: Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien	
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.1999 bis 31.03.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.360.156,41 EUR	Projektleiter: Dr. Hagemann

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Versuche zur Gasfreisetzung und zur Wärmeentwicklung bei der Umsetzung von Abfällen mit salinaren Lösungen im halbtechnischen Maßstab (Reaktionsmasse etwa 10-20 kg). Bei den eingesetzten Abfällen konnte bei der Reaktion mit salinaren Lösungen kein bedeutsamer Temperaturanstieg beobachtet werden. Die beobachteten Gasbildungsgeschwindigkeiten fallen bei den Großversuchen im Zehnkilogramm-Maßstab deutlich kleiner als bei früheren Kleinansätzen aus. In jedem Fall ist aber mit einem vergleichbaren maximalen Gasfreisetzungspotential zu rechnen.

Bei den zum Teil bereits über zwei Jahre laufenden Langzeitversuchen werden bei vier Abfällen noch immer konstante Gasbildungsraten gefunden. Dies zeigt, dass es neben schnell ablaufenden Prozessen, wie sie besonders bei aluminiumhaltigen Abfällen beobachtet werden, auch langfristig wirksame Reaktionen gibt.

Zur Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit von abreagierten Abfall/Lösungsgemischen wurde ein einfaches Messverfahren für Großproben entwickelt. Die so bestimmten Wärmeleitfähigkeiten liegen zwischen denen der reinen Salzlösungen und vergleichbarer Sandschüttungen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss der oben genannten Arbeiten, Anfertigung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0710
Vorhabensbezeichnung: Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2000 bis 29.02.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 915.017,99 EUR	Projektleiter: Dr. Hagemann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Ableitung einer abgesicherten Datenbasis für salinare Lösungen: Vervollständigung der Datenbasis zur Berechnung der chemischen und thermodynamischen Eigenschaften von Zink, Blei und Cadmium in wässrigen Lösungen
- Identifizierung effektiver Rückhaltemechanismen: Untersuchung der Eigenschaften (Zusammensetzung, Löslichkeitskonstanten) schwerlöslicher Verbindungen von Zn, Pb, Cd mit den Ionen Na, K, Mg, Ca, Cl, SO₄, PO₄, CO₃ und OH hinsichtlich ihrer Eignung zur Rückhaltung und langfristigen Fixierung
- Qualitätsgesicherte Dokumentation der gesammelten Daten und berechneten Parameter in einer standardisierten Form
- Überprüfung von Rückhaltemechanismen im Technikumsmaßstab: Durchführung von Säulen- und Batchversuchen zur Überprüfung der Anwendbarkeit des entwickelten thermodynamischen Parametersatzes. Hierbei wird die tatsächliche Wirksamkeit von "geochemischen Puffern" oder "Fängermineralen" hinsichtlich ihrer Rückhaltung von Pb, Zn und Cd aus schadstoffhaltigen Lösungen untersucht und mit den Modellierungsergebnissen verglichen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Gemäß der mit dem Programm WOTAN durchgeführten faktoranalytischen Trennung von Ramanspektren zinkchloridhaltiger Lösungen bildet Zink genau zwei stabile Chlorokomplexe: $[\text{ZnCl}_2]^0$ und $[\text{ZnCl}_4]^{2-}$. Ein dritter Komplex bildet sich nur bei sehr niedrigen Chloridkonzentrationen und muß für die Auswertung nicht betrachtet werden.
- Analoge Spezies werden bei Cadmiumchloridlösungen beobachtet.
- Die Auswertung der Spektren aus den Systemen Cd-Mg-Cl-H₂O und Zn-Mg-Cl-H₂O wird durch das Auftreten von Magnesiumchlorokomplexen erschwert. Abhilfe sollen zusätzlich Ramanmessungen an reinen MgCl₂-Lösungen liefern.
- Beginn von Säulenversuchen zur Rückhaltung von Zink, Blei und Cadmium durch Mineralbeimischungen zu Salzversatz

4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss ergänzender ramanspektroskopischer Untersuchungen zur Chlorokomplexbildung von Cadmium und Zink.
- Nach Eingang der Messdaten aus Unteraufträgen: Erstellung eines vollständigen Parametersatzes für Zn, Cd, Pb in sauren Lösungen. Erstellung eines konsistenten, kritisch kompilierten thermodynamischen Datensatzes zur Beschreibung der Komplexbildung und Festphasenstabilität der Verbindungen von Zink, Blei und Cadmium mit Hydroxid, Chlorid, Carbonat und Phosphat.
- Qualitätsgesicherte Dokumentation der erhaltenen Parameter.
- Abschluss und Auswertung der oben genannten Säulenversuchen.
- Erstellung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38670 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 0720
Vorhabensbezeichnung: Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2000 bis 31.03.2006	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 528.955,99 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Durchführung der zur Ermittlung der Stoffparameter erforderlichen Versuche, Auswertung und Darstellung der Versuchsergebnisse
- Implementierung des Verheilungsansatzes in MISES3/ Betriebssystem Windows
- Auswertung von Laborversuchen und vergleichende Gegenüberstellung von Literaturdaten mit den Versuchsdaten
- Ableitung eines vollständigen Parametersatzes für das Stoffmodell Hou/Lux (Schädigung und Verheilung)
- Rückrechnung von Laborversuchen an zylindrischen Prüfkörpern mit 180 mm Höhe und 90 mm Durchmesser.

Die Validierung des Stoffmodellansatzes zur Verheilung soll auch durch die Nachrechnung von In-situ-Bauwerken erfolgen. Zur Übertragung des um den Verheilungsansatz erweiterten Stoffmodells Hou/Lux auf reale Bauwerke sind im wesentlichen zwei Berechnungsmodelle vorgesehen.

- (a) Quantifizierung der Verheilungsdauer in der Auflockerungszone um ein Dammbauwerk (Paralleldamm).
- (b) Verheilung der Auflockerungszone einer mit einem Tübbing ausgebauten Strecke.

Im Rahmen der durchgeführten Verifikationsberechnungen zeigten sich im derzeit implementierten Stoffmodellansatz Hou/Lux signifikante Defizite. In der Rissschließungsphase kam es zu einem signifikantem Anstieg der Spannungen im Prüfkörper. Diese Spannungsspitzen sind nach bisherigem Kenntnisstand nicht erklärbar bzw. physikalisch zu deuten. Derzeit scheint der implementierte Verheilungsansatz nicht in der Lage zu sein, Laborversuche an komplexeren Systemen zufrieden stellend zu beschreiben.

Eine detaillierte Analyse des implementierten Verheilungsansatzes in MISES3 führte zu folgenden Ergebnissen:

- Der auf Literaturangaben basierende Verheilungsansatz in MISES3 wurde numerisch anhand zylindrischer Prüfkörper ohne Stahlplatten mit idealisierten Lagerungsbedingungen unter einfachen Beanspruchungsverhältnissen mit je einer konstanten Laststufe für Schädigung und Verheilung geprüft, wobei die Ergebnisse mit denen aus der international bekannten Literatur eine gute Übereinstimmung zeigten. Dies rechtfertigte die Hoffnung auf eine generelle Eignung des gewählten Ansatzes.
- Die nachvollzogenen und ausgewerteten Beispiele aus der Literatur bezogen sich aber auf den Sonderfall von TC-Versuchsbedingungen. Bei Prüfkörpern mit Stahlplatten entstehen durch die behinderte Querdehnung im Bereich der Stahlplatten allerdings komplexe mehraxiale Spannungszustände, die dazu führten, dass keine TC-Bedingungen vorliegen.
- Ein weiteres erst im Zuge der Verifikationsberechnungen gefundenes Defizit des derzeit noch implementierten Verheilungsansatzes zeigt sich bei den ermittelten Verzerrungen. Die zur Berechnung der Verzerrungen maßgebende Potentialfunktion (Q-Funktion) enthält nicht die zweite Hauptspannungskomponente. Aus diesem Grund ist bei mehraxialen Spannungszuständen, wie sie sich bei der Berechnung des gelagerten Prüfkörpers mit Stahlplatten zwangsläufig einstellen, davon auszugehen, dass die Verzerrungen und die im folgenden daraus berechneten Spannungen nicht denen des realen Tragsystems entsprechen.

Zur Eingrenzung der Defizite im derzeit implementierten Verheilungsansatz wurden nachstehende numerische wie auch analytische Variationen mit Parametern und Modellen durchgeführt:

- Analytische und numerische Untersuchungen am idealisierten zylindrischen Prüfkörper ohne Stahlplatten mit Parametervariation von Versuchs- und Literaturkennwerten.
- Um ein möglichst einfaches, aber komplexeres Modell als den Vollzylinder zu erhalten, wurden analytische und numerische Untersuchungen am würfelförmigen Prüfkörper mit Parametervariation von Versuchs- und Literaturkennwerten durchgeführt.
- Es wurden numerische Berechnungen am zylindrischen Prüfkörper mit Stahlplatten und stufenweiser Beanspruchungszunahme in der Verheilungsphase gemäß den Versuchsrandbedingungen im Labor durchgeführt. Das Problem der unrealistisch hohen Spannungskonzentration im Prüfkörper konnte nicht beseitigt werden.
- Um einen generellen Fehler im Programm MISES3 auszuschließen, wurde des weiteren eine Analyse der numerischen Berechnung zu ausgewählten Zeitpunkten sowohl für die Schädigungsphase wie auch für die Verheilungsphase (nach Ende der Schädigungsphase, unmittelbar vor Einsetzen der Verheilung und am Anfang der Verheilungsphase) durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Anwendung des Verheilungsansatzes auf ausgewählte Fragestellungen und Übertragung auf reale Bauwerke gemäß Antragskizze

Nachdem der Verheilungsansatz im Stoffmodell Hou/Lux so modifiziert wurde, dass die Verifikationsberechnungen die Laborversuche rechnerisch richtig abbilden bzgl. der zeitabhängigen Spannungsverläufe in ausgewählten Punkten des Prüfkörpers sowie für die flächenhaften Spannungen zu ausgewählten Zeitpunkten und die aus den Versuchen direkt und indirekt gemessenen Zustandsgrößen Dilatanz, Damage (Schädigung) und Stauchung hinreichend genau nachgerechnet werden können, werden die Anwendung des Verheilungsansatzes auf ausgewählte Fragestellungen sowie die Übertragung des Verheilungsansatzes auf reale Bauwerke gemäß Antragskizze wieder aufgenommen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99404 Weimar		Förderkennzeichen: 02 C 0800
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2000 bis 31.01.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 587.094,93 EUR	Projektleiter: Dr.-Ing. Kupfer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Messung der Feuchteverteilung in geotechnischen Barrieren von Untertagedeponien ist zur Bewertung des statischen Zustandes, für nicht bestimmungsgemäße Entwicklung von Lösungszutritten, aber auch zur Datenerfassung für Langzeitsicherheitsanalysen erforderlich. Das Vorhaben hat die Entwicklung eines dielektrischen Messsystems zur Feuchtebestimmung in Bentonit-Abschlussbauwerken zum Ziel. Es erfolgen Untersuchungen der dielektrischen Eigenschaften von Bentonit, Modellberechnungen zur Messmethode, Anwendungen verschiedener Messsysteme im 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 werden Aussagen zum Langzeitverhalten unterstützt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP6: Auswertung der TDR-Messungen im Bentonithochdruckversuchsstand der MFPA mit Calcigepellets/-granulat und Wasser bzw. NaCl-Lösung als Fluid:

- Aus dem TDR-Messsignal lassen sich Feuchtefront und die zeitliche Ausbreitung dieser Front (Feuchteprofil) qualifiziert bestimmen und mit dem im Druckrohr visuell beobachteten Verlauf der Feuchtefront korrelieren.
- Für die Quantifizierung der Feuchte in Abhängigkeit vom Ort (ortsaufgelöste Feuchtwerte) gibt es modellierte Lösungsansätze (Rekonstruktionsverfahren). Diese Ansätze basieren z. Z. noch auf ungestörten TDR-Messsignalen, d. h. auf TDR-Signalverläufen, die nicht durch Mehrfachreflektionen beeinflusst werden.
- Neben dem Feuchteverlauf ist die ortsaufgelöste Porositäts/Dichte-Veränderung z. B. für die Parameterbestimmung im Prognosemodell (AP8) von großer Bedeutung. Ein Lösungsansatz, um aus den TDR-Signalen den Dichteverlauf zu ermitteln, wird erarbeitet. Dazu dient ein Versuch, der z. Z. im Bentonithochdruckversuchsstand läuft, bei dem u. a. im Bentonit an verschiedenen Stellen mit Drucksensoren

kontinuierlich die Drücke gemessen und diese Druckverläufe mit den dazugehörigen orts aufgelösten TDR-Messsignalen verglichen werden.

AP7: Abschluss der halbtechnischen Versuche mit grundlegenden Aussagen zu den Versuchsdurchführungen und der Einsatzfähigkeit der Kabelsensoren in Bentonitdichtungen:

- Die Eindringraten von Wasser und NaCl-Lösung sind ähnlich.
- Die Kombination MX80-Granulat mit NaCl-Lösung hat nicht zu einer Dichtwirkung geführt, weil bei diesem Einbaumaterial die notwendige Einbaudichte $> 1,5 \text{ g/cm}^3$ nicht erreicht werden konnte. Das Fluid hat drucklos das gesamte Material benetzt, ohne eine Quellwirkung zu erzeugen. Wasser als Fluid hat bei gleicher Einbaudichte eine geringdurchlässige Schicht erzeugt und somit einen Druckaufbau ermöglicht.
- Ein „fingering“ der Fluide ist nicht nachweisbar.
- Die Versuchsdurchführung mit „Konstantdruckpumpen“ ergab aussagekräftigere Versuchsergebnisse.
- Die Fluidmengenmessung nach bisheriger Methodik (Füllstandsmessung) ist zu störanfällig.
- Der Einbau der Kabelsensoren erfordert im Kontaktbereich zum Bentonit eine zusätzliche Fugenbehandlung um gleiche Permeabilitäten, wie im umgebenden Dichtmaterial, zu erreichen.
- Die Kabelsensoren sind auch im Druckbereich von 100 bar mechanisch stabil.
- Der Einbau des Kabelsensors in Formsteindichtungen erzeugt durch das Bauwerk eine durchgehende Fuge. Ein Einbau des Sensors „über Kante“ ist wegen mechanischer Probleme nicht möglich. Im Versuch mit MX80-Formsteinen + NaCl-Lösung ist Feuchtigkeit in die gesamte Dichtung eingedrungen, die aber offensichtlich nicht über die Sensorfuge gekommen ist.

AP8: Formulierung des Prognosemodells auf der Basis der gewonnenen Versuchsergebnisse aus den halbtechnischen Versuchen (AP7):

- Die Strömungsprozesse im Bentonit werden durch die absolute Permeabilität des gesättigten Materials, durch die Porositätsveränderung infolge von Quellen + Auflockerung/Kompaktion und durch die relative Permeabilität (Flüssigkeitssättigung im ungesättigten Dichtmaterial) bestimmt.
- Die Zweiphasenströmung bestimmt die Feuchteverteilung im ungesättigten Dichtmaterial, wobei die dimensionierungsrelevante Durchströmung eines Dichtelementes durch die Strömung im gesättigten Dichtmaterial bestimmt wird.
- Die Flüssigkeitsströmung setzt erst bei hoher Porenraumsättigung ein.
- Im ungesättigten Bereich ist $k_{\text{Flüssigkeit}} < k_{\text{abs}}$.
- Für unterschiedliche Quellzustände/Porengrößenverteilung ist die Bestimmung der Kapillardruck-Sättigungs-Funktion erforderlich.
- Für unterschiedliche Quellzustände/Porengrößenverteilung ist die Bestimmung der Phasenpermeabilität bzw. eines funktionalen Zusammenhangs von Kapillardruck und Phasenpermeabilität erforderlich.
- Aus den halbtechnischen Versuchen werden die Prozessparameter absolute Permeabilität und Auflockerung/Kompaktion abgeleitet.
- Zur Abbildung der Veränderung der relativen Permeabilität in Abhängigkeit der Porositätsveränderung durch Quellen + Auflockerung/Kompaktion stehen keine Prozessparameter aus den halbtechnischen Versuchen zur Verfügung.
- Ein Messkonzept für die Ermittlung des Einflusses von Veränderungen der Materialeigenschaften (Porositäts/Dichte-Veränderung) auf die indirekte Feuchtemessung (Kabelsensor) muss entwickelt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Abschlussbericht

6. Berichte, Veröffentlichungen

Kupfer, K.; Trinks, E.; Schäfer, T.: Messsystem zur Feuchtedetektion in Bentonit-Verschlussbauwerken in salinärer Umgebung. Tagungsband „Innovative Feuchtemessung in Forschung und Praxis“, Universität Karlsruhe, 2003.

Kupfer, K.; Trinks, E.: Implantierte TDR-Sensoren zur Feuchteprofilbestimmung in Bauwerken. Tagungsband 3. Weimarer Bauphysiktag, Weimar, 2003.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (FZK), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 C 0810
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2000 bis 31.10.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.10.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 151.546,40 EUR	Projektleiter: Dr. Brandelik	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im angegebenen Zeitraum wurden die Ergebnisse aufbereitet und ein vorläufiger Abschlussbericht ausgearbeitet. Darin wurde Wert gelegt auf die Interpretation der Versuchsergebnisse hinsichtlich der Verfolgung von Feuchtefronten in einem Dichtungsbauwerk und der Aussage zum Wassergehalt entlang der Sensorkabel.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der vorläufige Bericht soll in enger Abstimmung mit Herrn Dr. Kupfer von der MFPA in Weimar mit dessen Ergebnissen zu einem gemeinsamen Abschlussbericht zusammengefasst werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: TU-BAF, Akademiestr. 6, 09596 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 C 0820
Vorhabensbezeichnung: Zeitliche Veränderungen der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2001 bis 31.03.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 518.810,04 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Häfner	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat als Ziele:

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Untersuchungsprogramm entsprechend AP 1 – 7:

- Herstellung und Installation von Bohrungen unter Verwendung von MgO-Beton als Packer.
- In-situ-Permeabilitätsmessungen mit Gas und mit einem inerten Fluid (Silikonöl).
- Erweiterung des Messortes Grube Teutschenthal für die Durchführung von Laugenmessungen.
- In-situ-Permeabilitätsmessungen mit R-Lösung.

- Wiederholungen der Permeabilitätsmessungen mit R-Lösung zur Bestimmung des zeitabhängigen Permeabilitätsverhaltens um die Bohrungen infolge der Reaktion von R-Lösung und Carnallitit.
- Durchführung von Permeabilitätsmessungen mit steigendem Druck bis zum Versagensfall (Frac).
- Bestimmung der Permeabilität der Kontaktfuge eines hergestellten Flächenpackerelementes mit Gas.
- Permeabilitätsmessungen der Kontaktfuge des Flächenpackerelementes nach einer Vergütung (Injektion von Bitumen in die Kontaktfuge).
- Laborative Bestimmung der Druckentwicklung beim Kontakt eines Carnallitit/Tachydrit-Kerns mit R-Lauge unter hermetischem Abschluss.
- Laborative Messung der Volumenentwicklung von Tachydrit in Kontakt mit R-Lösung.
- Interpretation der In-Situ-Messungen mit Analyse der zeitabhängigen Laugenpermeabilität.
- Analyse und Interpretation der Labormessungen.

Ergebnisse:

- Permeabilitätsmessungen mit Gas und inertem Fluid (Silikonöl) erbrachten vergleichbare Resultate.
- Permeabilitätsteste mit R-Lösung zeigten einen abweichenden Druckverlauf von Standardmessungen. Nach anfänglichem Druckabfall steigt der Druck erneut an.
- Das o. g. genannte Phänomen wird vermutlich durch Umkristallisationseffekte (Tachydrit mit R-Lösung führt zur Gipsbildung) hervorgerufen.
- Zur Untersuchung des o. g. Phänomens durchgeführte Laborexperimente (Tachydrit mit R-Lösung) zeigten eine Volumenvergrößerung und einen Druckanstieg.
- Mit R-Lösung wurden anfänglich um den Faktor 10 höhere Permeabilitäten als mit Gas gemessen. Bei nachfolgenden Wiederholungsmessungen reduzierte sich die Permeabilität bis auf das Niveau der Messungen mit Gas.
- Permeabilitätsmessungen der Kontaktfuge eines hergestellten Flächenpackerelementes am Stoß mit Gas ergaben hohe Permeabilitäten von ca. 10^{-13} m^2 .
- Durch eine Vergütung der Kontaktfuge des Flächenpackerelementes (Injektion von Bitumen in die Kontaktfuge) konnte die Permeabilität um den Faktor von 1000 reduziert werden.
- Permeabilitätsmessungen der Kontaktfuge des Flächenpackerelementes nach einer Vergütung (Injektion von Bitumen in die Kontaktfuge).

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt ist abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Voigt, H.D.; Häfner, F.; Sitz, P.: „A field test to measure low permeabilities of host and excavation disturbed rocks“, CLUSTER conference workshop: „Impact of the EDZ on radioactive waste geological repositories“, Luxemburg 3-5 Nov. 2003.

Voigt, H.D.: Ergebnisse der Permeabilitätsmessungen am Standort des Verschlussbauwerkes Sondershausen, Ausbildung der ALZ. Fachgespräch Freiberg 17.-18. März 2003. Veröffentlichung des PtWT+E, Karlsruhe 2003.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0830	
Vorhabensbezeichnung: Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2000 bis 30.06.2004		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.351.397,58 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geol. Kull	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das FuE-Vorhaben wird durch nachfolgende Arbeitsschritte beschrieben:

AP1: Laborarbeiten

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

AP2: Modell

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

AP2: in situ

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Flutung von zwei 15-m-langen mit unterschiedlichen SVV-Mischungen besetzten Großbohrlöchern (GB-1 und GB-2) mit NaCl- bzw. MgCl₂-gesättigter Lauge wurde abgeschlossen. Um eine weitere axiale Ausdehnung des auskristallisierenden SVV-Materials zu verhindern, wurde am Bohrlochende ein mechanisches Widerlager einrichtet. Dies führte zu einer erheblichen Verbesserung der hydraulischen Abdichtung innerhalb des SVV's. So stieg der Injektionsdruck in den Flutungskammern, bei konstanten Fließraten, zeitweise auf 5 MPa. Eine nachhaltige Abdichtung, gleichbedeutend mit der vollständigen Unterbrechung des Laugenflusses, lag bei Injektionsdrücken unterhalb von 2,5 MPa bzw. 1,5 MPa vor. Aus der Bilanz der injizierten Laugenmenge, die ca. 110 % der Ausgangsporosität entspricht, kann geschlossen werden, dass das maximale Kristallisationsvermögen (140-150 Vol.-%) in den Upscalingversuchen nicht erreicht wurde.

Mit der Flutung des dritten instrumentierten Großbohrloches (GB-3) wurde begonnen. Während der Flutung werden neben den hydraulischen Drücken, der Kristallisationsdruck, der Temperaturverlauf und das Vordringen der ‚Laugenfront‘ erfasst. Im bisherigen Versuchsverlauf stieg der Injektionsdruck von drucklosem Laugenzutritt auf 1 MPa. Die im Vergleich zu den im Labormaßstab gemessenen relativ niedrigen Kristallisationsdrücken von 1 MPa untermauern die vorstehenden Ergebnisse (GB-1; GB-2), dass im größeren Maßstab das Abdichtungspotenzial von SVV ohne zusätzliche Maßnahmen nicht ausgeschöpft werden kann. Im Zuge der Abdichtung / Verfestigung wurden Temperaturen im SVV von bis zu 60°C gemessen, (Gebirgstemperatur 35°C). Der zeitliche Verlauf des Vordringens der Laugenfront wurde mit geoelektrischen Messungen dargestellt. In der Veränderung der räumlichen Widerstandsverteilung spiegelt sich auch der Übergang des Wassers aus der Lauge in das Kristallgitter vom SVV wider.

Für eine Abschätzung der Auswirkungen des Kristallisationsdruckes auf die mechanische Integrität des Gebirges wurden Modellrechnungen durchgeführt. Auf der Grundlage der bisher ermittelten rheologischen Eigenschaften und einem geometrischen Modell eines Großbohrlochversuches wurden die maximal zulässigen Kristallisationsdrücke berechnet. Die Ergebnisse weisen u. a. daraufhin, dass unterhalb eines Druckes in der Größenordnung von 5 MPa keine Schädigung (zusätzliche hydraulische Wegsamkeiten) zu erwarten ist.

Die thermischen Eigenschaften von ausreagiertem SVV-Mischungen wurden an Probenmaterial im Labor bestimmt. Die ermittelte Wärmeleitfähigkeit ist mit etwa $W \approx 0,2 \text{ W/mK}$ allgemein sehr niedrig, der mittlere lineare Ausdehnungskoeffizient liegt unterhalb von Halit $\alpha \approx 4 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der Flutung von GB-3; Beprobung der Großbohrlöcher GB-1 und GB-2
- Erstellung des Abschlussberichtes

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: TU-Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2 A, 38670 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 0841
Vorhabensbezeichnung: Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2001 bis 31.12.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.097.222,15 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Mengel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Stoßbeprobung des z2HS im Werk Braunschweig-Lüneburg
- Beprobung eines alten Bohrkerns aus Braunschweig-Lüneburg (z2HS)
- Eindunstungsexperimente zur Fraktionierung von Methan im Meerwasser
- Analyse von Flüssigkeitseinschlüssen im Bohrkern aus Zielitz
- Der chemische Stoffbestand dieser Lösungseinschlüsse ist eindeutig nicht aus der Eindunstung permischen Meerwassers erklärbar, obwohl die Einschlüsse selber eindeutig primärer Herkunft sind.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Analytische Arbeiten an einem alten Bohrkern aus Braunschweig-Lüneburg
- Beprobung eines frischen Bohrkerns in Braunschweig-Lüneburg
- Durchführung weiterer Experimente zum Fraktionierungsverhalten des Kohlenstoffs im gelösten CH₄ sowie im gelösten HCO₃⁻ im Meerwasser
- Durchführung von Experimenten zur Veränderung der Meerwasserzusammensetzung durch Detritus.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Potter, J., Siemann, M. G. (2004): A new method for determining $\delta^{13}\text{C}$ and δ^{D} simultaneously for CH₄ by gas chromatography/continuous-flow isotope-ratio mass spectrometry -- Rapid Communications in Mass Spectrometry, Vol 18, Issue 2, pp. 175 - 180.

Potter, J., Siemann, M. G., Tsypukov, M. (2004): Large scale isotopic carbon fractionations in a Zechstein evaporite deposit and the generation of extremely enriched methane gases – Geology, accepted.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Leonrodstraße 54, 80603 München		Förderkennzeichen: 02 C 0851
Vorhabensbezeichnung: Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geosonar- und Ultraschallverfahren		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2001 bis 30.09.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 30.09.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 435.740,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kühnicke	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Arbeitspunkt 1: Auswahl und Charakterisierung von Referenzmessorten

Arbeitspunkt 2: Optimierung der Sende-Empfangseinrichtung

Arbeitspunkt 3: Messkampagnen in Salzbergwerken

Arbeitspunkt 4: Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter im Labor und in-situ

Arbeitspunkt 5: Modellierung der Sende- und Empfangsprüfköpfe

Arbeitspunkt 6: Weiterentwicklung der Rekonstruktionsverfahren

Arbeitspunkt 7: Auswertung des Datenmaterials, Datenfusion

Arbeitspunkt 8: Abschlussbericht und Handlungsempfehlungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Arbeitspunkt 1:* Die geologisch-geophysikalische Charakterisierung des Referenzmessortes auf der 480 m-Sohle in der Grube Sigmundshall wurde durch Einbeziehen der Ergebnisse der fotografischen Stoßaufnahme der Wetterstrecke präzisiert.
- Arbeitspunkt 2-4:* Die Sonarmessungen mit einer optimierten Messkonfiguration in der Grube Sigmundshall sind abgeschlossen. Durch die Weiterentwicklung von Hard- und Software konnten die komplizierten Lagerungsverhältnisse in Sigmundshall hochauflösend erfasst und offene Fragen zu dem in HB 311 erbohrten Laugenvorkommen zwischen Profilmeter -60 m und +60 m geklärt werden.
- Arbeitspunkt 5:* Die Kopplung der Sensoren am Stoß mit Joch und Koppelmittel und ein großer Überdeckungsgrad der Messungen gewährleisteten ein hohes Signal/Rausch-Verhältnis und damit eine große Eindringtiefe des Geosonars.
- Arbeitspunkt 6-7:* Das Sonarverfahren ist in der Lage, zerstörungsfrei, d.h. ohne Erkundungsbohrungen, hochauflösende Informationen über geomechanische Parameter zu liefern. Mit der optimierten Messtechnik und neuen Auswerterroutinen wurden Reichweiten von ca. 100 m erzielt. Die Ergebnisse der Sonarerkundung konnten in Ergänzung zu den Georadarmessungen wichtige Strukturinformationen liefern. Das gilt bei zukünftigen Untersuchungen insbesondere in den Einsatzfällen, wo die Eindringtiefe der Georadarmessungen durch feuchte Schichten begrenzt wird. Direkte Aussagen zur Durchfeuchtung des Gebirges, wie sie die Geoelektrik bis etwa 25 m Tiefe liefert, können nicht getroffen werden. Eine Erkundung von Problemzonen, die zu Laugezuflüssen führen können, ist im Zusammenspiel elektrischer/elektromagnetischer und seismischer/Ultraschall-Verfahren unter Hinzunehmen von geologischen und bergmännischen Erfahrungen möglich, wobei die Einzelverfahren je nach geologischer Situation unterschiedliche Schwergewichte tragen.
- Arbeitspunkt 8:* Es wird ein gemeinsamer Abschlussbericht mit den Projektpartnern erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt ist abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

Zuwendungsempfänger: Universität Leipzig, Ritterstraße 26, 04009 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 C 0861
Vorhabensbezeichnung: Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geoelektrik, Seismik, Geologie		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2001 bis 31.12.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 524.744,27 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Jacobs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am Referenzstandort (Strecke in einem Bergwerk in Niedersachsen) sind geoelektrische Untertagemessungen durchgeführt worden, die als Ergebnis sehr große Widerstandskontraste und eine ausgedehnte Feuchtezone, die mit einem erbohrten Laugenvorkommen korrespondieren könnte, zeigten. Seismische Messungen lassen die Interpretation einer Schichtgrenze Steinsalz – Anhydrit zu. Ein Hartsalzband, das auch mit Radarmessungen gefunden wurde, zeichnet sich als Reflektor ab. An zwei Stellen gab es Hinweise auf eine Störung im Anhydrit.

Nach Beendigung aller Messungen wurde der Mess-Stoß geologisch kartiert und fotografiert. Zusammen mit den Projektpartnern wurden die Ergebnisse der Einzelverfahren zu einem gemeinsamen geophysikalischen Modell des untersuchten Grubenbereiches zusammengefügt. Daraus und aus den Ergebnissen der geologischen und fotografischen Stoßaufnahme wurde ein geologisches Modell mit Darstellung von Problemzonen abgeleitet. Es konnte der exakte Verlauf der im Anhydritmittelsalz auftretenden Anhydritmittel, der Kaliflöze Ronnenberg und Staßfurt und von Durchfeuchtungen im

stoßnahen Bereich bestimmt werden

Mit dem Finite-Elemente Programm GGFEM3D der opensource C++-Bibliothek DCFEMLib (RÜCKER 2003) wurden für eine Referenzgeometrie der profilmahen Grubenhöhlräume, bestehend aus einer Strecke mit einer Verbreiterung, Abzweigung und Parallelstrecke, die 3DFE-Geometriefaktoren berechnet. Die Modellierungsergebnisse zeigten, dass Änderungen der Hohlraumgeometrie auf der Messstrecke, d. h. der Streckenabzweig vom gegenüberliegenden Stoß und die Streckenverbreiterung, sich in lokalen Abweichungen des Übergangs vom Halbraum zum Vollraum auswirken. Der Übergang und die für eine Referenzgeometrie des Grubengebäudes 3DFE-modellierte Gültigkeitsgrenze für Vollraum-Bedingungen liegen im Bereich der Erkundungstiefe der geoelektrischen Messungen. Die 3D-Effekte infolge des Grubengebäudes sind jedoch aufgrund der großen Kontraste der gemessenen Widerstandswerte nicht signifikant für das aus der 2D-Inversion erhaltene Widerstandstiefenmodell.

An Proben aus dem Mess-Stoß wurden im Labor Messungen des Wassergehaltes, des spezifischen elektrischen Widerstandes und simultane Wassergehalts-Widerstands-Bestimmungen durchgeführt. Es ergaben sich insgesamt sehr geringe Wassergehalte, nur einzelne Proben aus dem durchfeuchteten Profildbereich weisen höhere Werte auf. Eine Trennung von Poren- und Kristallwasser war in den meisten Fällen aufgrund der zu geringen Wassermengen nicht möglich. Die Messungen des spezifischen elektrischen Widerstandes an Mini-Bohrkernen ergaben Widerstände von 10^3 bis $10^7 \Omega\text{m}$. Die wassergehalts- bzw. trocknungszeitabhängigen Widerstandsmessungen bestätigen die Ergebnisse aus dem Vorgängerprojekt (FKZ 02C0558): Die Widerstandsabhängigkeit vom Wassergehalt bzw. der Trocknungszeit richtet sich nach dem Kristallwassergehalt. Bei Proben ohne oder mit wenig Kristallwasser nimmt der Widerstand erwartungsgemäß mit der Trocknungszeit bzw. mit abnehmendem Wassergehalt zu. Bei hohem Kristallwasseranteil bleibt der Widerstand konstant oder fällt sogar. Für systematische Untersuchungen wurden Proben bei 200 °C getrocknet, so dass sie kristallwasserfrei waren, und anschließend befeuchtet. Die Ergebnisse folgen einem Perkolations-Modell.

Weiterhin wurden untertägige geoelektrische Messungen im Forschungsbergwerk Asse auf einem vorhandenem Messprofil der GSF durchgeführt. Gegenüber den von der GSF durchgeführten Routinemessungen konnte eine wesentlich verbesserte Aussage-Qualität bei größerer Eindringtiefe und vergleichbarer Messzeit erzielt werden. Zusätzlich wurden zu Testzwecken Übertage-Untertage-Messungen durchgeführt. Die bei Übertage-Einspeisung untertage aufgezeichneten Messsignale zeigen die Machbarkeit solcher Messungen.

In einem anderen Kalibergwerk wurden geoelektrische Messungen in einer Carnallitstrecke mit kreisförmigem Querschnitt auf einem Ringprofil durchgeführt. Die Auswertung ergab eine differenzierte Widerstandsverteilung in Relation zur Feuchteverteilung im Ringraum, die aber durch gezielte Verbesserung der Inversion noch verbessert werden könnte.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt ist abgeschlossen. Es wird ein gemeinsamer Abschlussbericht mit den Projektpartnern erstellt. Gemeinsame Veröffentlichungen befinden sich in Vorbereitung. Beiträge zur Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft 2004 wurden angemeldet.

Initiiert auf dem 2. Fachgespräch „Geophysik und Barriersysteme“ am 26.11.2003 in Leipzig, wurde gemeinsam mit Partnern aus Dresden und Freiberg die Durchführung einer Studie zum Thema „Geophysik an Verschlussbauwerken“ beim Projektträger (PtWT+E) beantragt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Just, A., Krause, Y., Jacobs F. (2003): Underground Geoelectrics for the Investigation of Risk Zones in Rock Salt.- Proc. 9th Meeting Environmental and Engineering Geophysics (EEGS), Prague, August 31 – September 4, 2003, P-019.

Just, A., Krause, Y., Jacobs F. (2003): Möglichkeiten und Grenzen untertägiger Geoelektrikmessungen im Salz. - Kolloquium EMTF, Königstein (Sachsen), 29.9.-3.10.2003.

Zuwendungsempfänger: Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30631 Hannover		Förderkennzeichen: 02 C 0871
Vorhabensbezeichnung: Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Elektromagnetik, Georadar, Quantitative Charakterisierung von Problemzonen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2001 bis 31.12.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 311.786,00 EUR	Projektleiter: Dr. Schulz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Als Referenzmessort standen zwei Strecken mit einem maximalen Profil von 500 m in einem Bergwerk in Nordwestdeutschland zur Verfügung. Die durch Bohrungen nachgewiesene Laugenstelle liegt in ca. 80 m Entfernung. Mit Hilfe des elektromagnetischen Reflexionsverfahrens (EMR, Georadar) mit einer Messfrequenz von 100 MHz konnte die Struktur des Salzstocks entlang des gesamten Messprofils bis in eine Entfernung von weit über 100 m richtungsorientiert erkundet werden. Die Laugenstelle zeichnet sich durch einen Bereich mit fre-

quenzabhängigen Reflexionsverhalten ab (Messfrequenz 25 und 100 MHz). Vergleichende numerische Modellrechnungen bestätigen das Ergebnis, wobei der Laugenkörper nicht mit einer scharfen Grenzschicht sondern mit einer Übergangszone (Gradientenzone) in den elektrischen Eigenschaften simuliert wurde.

Zusätzlich wurde ein elektromagnetisches Induktionsverfahren (EM) eingesetzt. Die Interpretation der EM-Messungen erfolgt mit einem numerischen Modellierungsprogramm (3D-EM Finite-Differenzen-Programm), das auch für systematische Modelluntersuchungen verwendet wird. Aus den Kurvenformen von In-phase- und Out-of-phase-Komponente ist es möglich, aus den EM-Messungen auf die Lage (Richtung) des Problembereiches im Vollraum zu schließen.

Bei den vorliegenden schwierigen geologischen und geotechnischen Randbedingungen liefert das Radarverfahren die meisten Informationen über den strukturellen Aufbau des Salzes und kann als einziges Verfahren Aussagen über die Lokation und Ausdehnung des Laugenvorkommens machen. Die Seismik kann zwar eine ähnlich große Erkundungstiefe erzielen, liefert jedoch aufgrund der größeren Wellenlänge und den geringen seismischen Kontrasten im Salz nur wenige Detailinformation. Das Geosonar besitzt aufgrund seiner höheren Messfrequenzen ein besseres Auflösungsvermögen, die Wellen werden jedoch an Inhomogenitäten im Salz sehr stark gestreut und gedämpft, sodass nur der streckennahe Bereich erkundet werden konnte. Bei der geoelektrischen Kartierung ergeben sich aufgrund der sehr trockenen Verhältnisse sehr hohe Übergangswiderstände, die maximal erreichte Erkundungstiefe beträgt nur etwa 30 m. Für das EM-Verfahren ist der elektrisch leitfähige Bereich, das Laugenvorkommen, zu weit entfernt, um einen auswertbaren Messeffekt zu erzielen. Hinzu kommen Störungen der Messungen durch die technischen Installationen in der Strecke.

4. Geplante Weiterarbeiten

Zum ersten Mal konnte ein Laugenvorkommen im Salinar durch sein frequenzabhängiges Reflexionsverhalten mittels Georadarmessungen mit verschiedenen Frequenzen nachgewiesen werden.

Das Projekt ist abgeschlossen. Es wird ein gemeinsamer Abschlussbericht mit den Projektpartnern erstellt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

IGEL, J., KURZ, G. & SCHULZ, R. (2003): Detektion von Feuchtezonen im Salinar mit dem Georadar (GPR). - Wasser- und Geotechnologie, Sonderband (ISSN 1610 - 3645), Aedificatio Verlag: angenommen.

IGEL, J., KURZ, G. & SCHULZ, R.: Detecting brine zones in salt deposits with the ground penetrating radar (GPR) for safety assessment of underground waste disposals. – Near Surface Geophysics; submitted.

KURZ, G., IGEL, J. & SCHULZ, R. (2003): 3D Electromagnetic Modeling In Frequency Domain - Studies Of Underground Measurements In A Salt Mine. – In: MACNAE, J. & LIU, G. (EDS.): “Three-Dimensional Electromagnetics III”, ASEG, 34: 1-6.

Zuwendungsempfänger: Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99421 Weimar		Förderkennzeichen: 02 C 0881
Vorhabensbezeichnung: Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2001 bis 31.07.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.208.490,51 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Schanz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das FuE-Vorhaben hat die Untersuchung des mechanisch-hydraulischen Verhaltens eines Abschlussbauwerks im Salinar, unter Berücksichtigung der physikalisch-chemischen Effekte zum Ziel. Im Mittelpunkt steht die Quantifizierung der Eigenschaften von variabel gesättigten, hochverdichteten Bentoniten. Im Berichtszeitraum ergab sich erfreulicher Weise die Möglichkeit zur Umsetzung der in diesem Vorhaben gewonnenen Zwischenergebnisse in einem weiteren BMBF-Vorhaben („Äquipotentialsegmente“, Prof. Nuesch, Universität Karlsruhe, siehe dort).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Arbeitsgruppe Weimar

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

Arbeitsgruppe Tübingen

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

Arbeitsgruppe Braunschweig

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

Arbeitsgruppe Freiberg

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AG Weimar: Anwendung der Hochdrucködometerzelle.

AG Braunschweig: Fortsetzung der Quelldruckmessungen mit Calcigel/Sand-Gemischen und IP21-Lösung in kleinen und großen zylindrischen Messzellen. Konstruktion einer Diffusionsmesszelle für quellfähige Bentonite. Es wurden bisher keine signifikanten Unterschiede der gemessenen Quelldruck-

cke zwischen den unterschiedlichen Zellen gefunden. Aufgrund der hohen Ausfallrate liegen allerdings auch noch nicht viele Ergebnisse vor. Viele Versuche müssen vorzeitig abgebrochen werden, weil die Drucksensoren beim Vorkompaktieren der Calcigel/Sand-Gemische zerstört werden. Hierfür sowie für die relativ große Streuung der gemessenen Quelldrucke ist vermutlich die Sandbeimischung verantwortlich.

AG Tübingen: Upscaling Methode für die Berechnung makroskopischer Volumen- und Porositätsänderungen infolge von Quellprozessen auf der Basis mikroskopischer Materialeigenschaften von Bentoniten; Implementierung einer Schnittstelle zwischen GeoSys/RockFlow und PhreeqC zur Simulation reaktiver Transportprozesse; Implementierung eines neuen Materialmodells für teilgesättigte expansive Materialien; Eine Schnittstelle für die Integration des geochemischen Simulators PhreeqC in das Finite-Elemente Programmsystem GeoSys/RockFlow wurde entwickelt. Nun können komplexe chemische Prozesse im Porenwasser berücksichtigt werden.; Für die Modellierung elastoplastischer Konsolidierungsprozesse wurde eine neue numerische Methode für die Integration von Spannungen sowie konsistenter Tangentialmatrizen für anisotrope Verfestigung entwickelt und implementiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

AG Braunschweig: Aufbau der Apparatur für Diffusionsmessungen und erste Versuche.

AG Freiberg: Abbildung des Quellens und der Auflockerung auf der Druckseite und deren Auswirkungen auf die Dichteverteilung und die Materialparameter des Dichtmaterials

AG Weimar: Fortführung der Quelldruck- und Durchlässigkeitsmessungen, Hochdruckoedometer

AG Tübingen: Weiterführung der Arbeiten zur Kopplung hydraulischer, mechanischer und chemischer Prozesse (reaktiver Transport und Konsolidierungsvorgänge in Mehrphasenströmungen) und Auswertung weiterer Datensätze aus den experimentellen Programmen der Projektpartner, Anwendung des numerischen Simulators auf Datensätze vom Versuchsstandort Sondershausen, Entwicklung graphischer Benutzerschnittstellen für die Modellierung von HMC Prozessen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Tripathy, S. & Schanz, T., Swelling pressure of sodium montmorillonites, *Geotechnique*, 53, No. 4, 449, 2003.

Agus, S. S. and Schanz, T., The use of a relative humidity sensor for suction measurement of compacted bentonite-sand mixtures, GTMM, Symposium on Geotechnical Measurements and Modelling, Karlsruhe, Germany, 2003.

Agus, S. S. and Schanz, T., Vapour equilibrium technique for tests on a highly compacted bentonite-sand mixture, *Int. Conf. on Problematic Soils*, Nottingham, UK, 2003.

Kolditz O, Wang W, de Jonge J, Xie M and Bauer S (2003): A process-oriented approach to compute THM problems in porous media. *Int. Conf.*

“From experimental evidence towards numerical modelling of unsaturated soils”, Weimar, Springer, *Lecture Notes in Applied Mechanics*.

Kolditz O and de Jonge J (2003): Non-isothermal two-phase flow in low-permeable porous media. *Computational Mechanics* in print.

Korsawe J, Starke G, Wang W and Kolditz O (2003): Finite element analysis of poro-elastic consolidation in porous media: standard and mixed approaches. submitted to *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*.

Wang W, Datcheva M, Schanz T and Kolditz O (2003): Numerical algorithm for elasto-plasticity with rotational hardening. *GeoSys – Preprint*, Center of Applied Geosciences, University of Tübingen, Soil Mechanics Laboratory, Bauhaus-University Weimar.

Xie M, Kolditz O, Agus S, Tripathy S and Schanz T (2003): An upscaling method and a numerical analysis of swelling/shrinking processes in a compacted bentonite/sand mixture. submitted to *Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*.

Zuwendungsempfänger: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 C 0892
Vorhabensbezeichnung: Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2002 bis 31.12.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 428.800,00 EUR	Projektleiter: Dr.-Ing. Minkley	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP 1: Durch weitere Scherversuche an Schichtflächen Carnallitit/Steinsalz konnte herausgefunden werden, dass in Abhängigkeit von einer kritischen Normalspannung und der Scherverschiebungsgeschwindigkeit der Kohäsionsverlust kontinuierlich oder abrupt erfolgt.
- AP 2: Im Schermodellansatz sind die experimentell beobachteten Phänomene Dilatanzkollaps und Geschwindigkeitsabhängigkeit umgesetzt worden. Das entwickelte Schermodell liegt in FISH-Programmierung vor.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP 1: Fortführung der Scherversuche bei Variation der Normalspannung und Verschiebungsgeschwindigkeit zur Absicherung der beobachteten Phänomene.
- AP 2: Implementierung des entwickelten Schermodells in das diskontinuumsmechanische Rechenprogramm UDEC.
- AP 3: Verifizierung des Schermodells durch Nachrechnung von Scherversuchen aus AP 1.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0912	
Vorhabensbezeichnung: Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2002 bis 30.04.2005		Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 867.752,00 EUR		Projektleiter: Dr. Mönig	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Auf experimenteller Basis wird durch Datenauswertung ein thermodynamischer Parametersatz entwickelt, mit dem sich die Eigenschaften von Al- und Si-Spezies in salinaren Lösungen bis 25 °C in einem breiten pH-Bereich voraussagen lassen. Hierzu werden Lösungssysteme und -eigenschaften identifiziert, mit denen die gesuchten thermodynamischen Parameter (Löslichkeitskonstanten, Assoziationskonstanten, spezifische Wechselwirkungskoeffizienten) durch experimentelle Untersuchungen ermittelt werden können.

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in die folgenden Arbeitspakete:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Die Löslichkeit von Kieselsäure wurde in verschiedenen wässrigen Lösungen der ozeanischen Salze mit komplexer Zusammensetzung, wie z.B. IP9- und IP21-Lösungen, bestimmt, um den entwickelten Parametersatz zu überprüfen. Dabei ergab sich eine gute Übereinstimmung der Messwerte mit den auf Basis der neu ermittelten Pitzerkoeffizienten berechneten Werten.
- Die isopiestic Messungen zur Bestimmung der Pitzerkoeffizienten für Al in basischen und sauren wässrigen Salzlösungen wurden begonnen. Untersucht werden insbesondere die Systeme mit den zweiwertigen Ionen der Salze des hexären Systems ozeanischer Salze (Mg, Ca, Sulfat), bei denen Lücken in den Literaturdaten festgestellt wurden.
- Für Löslichkeitsmessungen mit Gibbsit im sauren und basischen pH-Bereich wurde eine für Langzeituntersuchungen geeignete Messzelle geplant und beschafft, die eine einfache wiederholte Beprobung der Lösung zulässt.
- Die potentiometrischen Titrations zur Ermittlung des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von $\text{H}_4\text{SiO}_4 / \text{H}_3\text{SiO}_4^-$ in Abhängigkeit von der Salzfracht wurden wiederholt, zeigten keine reproduzierbaren Trends und sind in dieser Form nicht zur Bestimmung von Pitzerkoeffizienten auswertbar.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortsetzung der isopiestic Messungen für Al in basischen und sauren wässrigen Salzlösungen.
- Löslichkeitsmessungen mit Gibbsit im sauren pH-Bereich in den Systemen K-H-Cl-Al, Mg-H-Cl-Al, Ca-H-Cl-Al.
- Löslichkeitsmessungen mit Gibbsit im sauren pH-Bereich in den Systemen Na-OH-SO₄-Al(OH)₄ und K-OH-SO₄-Al(OH)₄.
- Weitere Untersuchungen zur Bestimmung des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von $\text{H}_4\text{SiO}_4 / \text{H}_3\text{SiO}_4^-$ in Lösungen in Abhängigkeit der Salzfracht.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe		Förderkennzeichen: 02 C 0922
Vorhabensbezeichnung: Verschlussystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2002 bis 31.12.2006	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.091.844,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Nüesch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Geotechnische Barrieren (Schacht-, Strecken- und Bohrlochverschlüsse) in UTD sind als nachweislich langzeitstabile Verschlussbauwerke auszubilden. Sie sind so zu konstruieren, dass sie möglichst schnell aus einer Beobachtungs- und Überwachungsphase entlassen werden können. Vorhabensziel ist das Design, der konstruktive Entwurf und der Bau eines Verschlussystems, das mittels Äquipotenzialsegmenten eine homogene Durchfeuchtung des dichtenden Bentonitkerns gewährleistet.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Konzeption des Verschlussystems, Versuchsplanung, Grundlagenermittlung
- AP2: Durchführung und Bewertung eines Laborversuches
- AP3: Modellierung der Vorgänge im Verschluss
- AP4: Halbtechnischer Versuch, Durchführung und Bewertung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 2: Materialuntersuchungen für das DS: Es wurden 3 Bentonite (Volclay, zwei Arten von Calcigel) für Materialuntersuchungen ausgewählt. Entscheidendes Kriterium war u. a. die Datenbasis in der Literatur. In ersten Versuchen zur Bestimmung des Wassergehaltes der Bentonite unter Laborbedingungen wurde bestätigt, dass bei 105°C nicht das gesamte adsorbierte Wasser entfernt wird. Die genaue Bestimmung dieses Parameters bildet jedoch die Grundlage für die Kalibrierung der TDR-Messung und ist Berechnungsgrundlage für die wichtigsten tonmineralogischen Parameter der Festsubstanz der Bentonite. Erste vergleichende Untersuchungen mittels statischer Thermischer Analyse (Wassergehalt) und dynamischer Thermischer Analyse haben gezeigt, dass der Fehler bei der Wassergehaltsbestimmung von der Ionenbelegung der Zwischenschichten der quellfähigen Tonminerale sowie der Konditionierung der Bentonite abhängig ist. Dazu wurden weitere Parameter der Bentonite validiert.

Materialuntersuchung für das ÄS: Die Untersuchungen an den Materialien für den kapillaren Anteil des ÄS werden einen Anhaltspunkt für die Dimensionierung des Schichtenaufbaus im halbtechnischen Maßstab (AP 4) liefern. In dem Druckbehälter werden außer dem TDR-Messsystem weitere Sensoren z.B. für Druck, Temperatur, mechanische Verschiebung, Leitfähigkeit eingebaut (Referenzparameter). Der Versuchsstand wird sich am Aufbau der TU Freiberg orientieren. Mehrere Materialien wurden auf die gewünschten Eigenschaften untersucht. Bisher ist das kapillare Steigvermögen noch nicht befriedigend. Dazu konnten die mineralogischen Grundlagen geklärt werden. Validiert wurde ein ausgewähltes rolliges Material für den Einsatz im Schachtverschluss.

Die Universität Weimar wurde mit der **Numerische Simulation (AP 3)** des Verschlussbauwerkes beauftragt. Für die durchzuführenden numerischen Simulationen über das Ausbreitungsverhalten des Wasser in den im Projekt beschriebenen Schacht- und Streckenverschlüssen ist die Spezifikation der zu verwendenden Materialien von entscheidender Bedeutung. Hierzu wurden alle für die Simulation relevanten Parameter identifiziert und beschrieben. Diese werden anhand der vorliegenden Materialproben analytisch bestimmt oder aus der Literatur abgeschätzt.

Die Bearbeitung der AP 2 und AP 3 wurde begonnen. Die Ergebnisse wurden im Rahmen der 4. Projektsitzung am 27. November 2003 im FZK vorgestellt.

Geotechnik: Es konnte herausgearbeitet werden, dass für den Nachweis der Wirksamkeit des Verschlussbauwerkes die Ermittlung des tatsächlichen Wassergehaltes im DS wichtig wird. Dazu wurden vertiefte Materialuntersuchungen durchgeführt und die Versuchsergebnisse validiert.

Numerische Modellierung: Für diese Aufgabe sind die Basisdaten (Materialkennwerte) entscheidend. Diese sind identifiziert. Das weitere Vorgehen kann nur iterativ erfolgen, d.h. parallel zu den Materialuntersuchungen für das DS und das ÄS (AP2).

Materialuntersuchung: Die Materialien für DS und ÄS werden vertieft untersucht. Das Material für das ÄS soll gleichzeitig kapillar brechend und flächig benetzend sein. In der Versuchsanlage werden geeignet erscheinende Materialien auf ihre Materialcharakteristik untersucht. Für den Untersuchungsfall „Schachtverschluss“ konnten die gewünschten Materialeigenschaften nachgewiesen werden. Für das Material im DS ist die exakte Bestimmung des Wassergehaltes Schwerpunkt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die **AP 2** wird weiter umgesetzt. Die Auswertung der TDR-Daten im Hinblick auf eine direkte Feuchtebestimmung erfolgt noch nicht mit der gewünschten Genauigkeit: aufgrund hoher dielektrischer Verluste im Bentonit-Wassergemisch ist eine direkte Kalibrierung der Sensoren nicht möglich. Deshalb wird eine neue Mischungsregel entwickelt, die die elektrische Leitfähigkeit im Material berücksichtigt und durch Simulation der elektromagnetischen Vorgänge in einem Volumenelement beschreibt. Die Materialdaten werden verwendet, um das Modell für die Simulation zu verifizieren und anzupassen. Mit den Untersuchungen an weiteren geeigneten Materialien wird das Design der ÄS festgelegt. Dazu werden Versuche mit verschiedenen Materialien, Schichtungen, Zugabe von Flüssigkeit (u. a. auch salinaren Lösungen) in unterschiedlichen Mengen mit variablem Druck durchgeführt. Die Parameter werden mit den Eingangsgrößen für die Modellierung abgestimmt. Die Durchführung des halbtechnischen Versuches (**AP 4**) wird vorbereitet. Entsprechende Angebote werden derzeit eingeholt.

Die Abstimmung mit der Modellierung hat ergeben, dass die Verlässlichkeit der Kennwerte der Bentonite in der Literatur häufig nicht beurteilt werden kann. Aus diesem Grund wurden an den 3 benannten Bentoniten neben ersten Versuchsergebnissen auch deren Verlässlichkeit validiert. Parallel wird die **AP 3** (Numerische Modellierung) weitergeführt. Die entscheidenden Parameter sind identifiziert (Parametervariation) und werden in das Modell integriert. Der Bedarf an Materialkenngrößen wird in einer Sensitivitätsanalyse optimiert.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Vortrag im Rahmen des Workshops an der Universität Karlsruhe „Innovative Feuchtemessung in Forschung und Praxis“ im Juli 2003

Zuwendungsempfänger: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 C 0932
Vorhabensbezeichnung: Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2003 bis 31.12.2005	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 365.274,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kupsch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Geochemische Rückhaltebarrieren, insbesondere Deposite reaktiver Kohlenstoffverbindungen, können gegenüber Schwermetallen als Senke fungieren und bei geeigneten konstanten geochemischen Parametern (Eh, I, pH) langfristig stabil sein. Es soll die Bildung, Reaktivität und Stabilität von Depositen solcher Kohlenstoffverbindungen auf geogenen Matrices und die damit verbundenen Stoffumsätze, insbesondere mit toxischen Schwermetallen, untersucht werden. Dazu wird die Ausbildung von Oberflächendepositen und deren Einfluss auf die Schwermetalladsorption in Abhängigkeit von geochemischen Parametern unter naturnahen Bedingungen untersucht. Der molekulare Bezug natürlicher geochemischer Rückhaltebarrieren wird durch die Realisierung von radioaktiven Mehrfachmarkierungen (Schwermetalle und Organika) gefunden. Die wesentlichen Ergebnisse des Vorhabens werden aus innovativen Bewertungskonzepten und -maßnahmen bestehen, die in konkreten Anwendungsfällen in die Kalkulation der Kosten und der Umweltverträglichkeit des Entsorgungskonzeptes einfließen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Extraktion, Charakterisierung und Markierung von reaktiven Kohlenstoffverbindungen
- Synthese von Radioisotopen und Entwicklung von radiochemischen Trennmethode für die Ultrapurenanalytik im geochemisch relevanten Flüssig-Fest-Phasensystem
- Sorptionsstudien von chemotoxischen Schwermetallen an Geomatrices unter naturnahen Bedingungen im Nichtgleichgewichts- und Gleichgewichtszustand mittels Radioisotopen
- Verteilungsmessungen von chemotoxischen Schwermetallspezies geogener und anthropogener Kohlenstoffverbindungen an Geomatrices
- Komplexstudien von chemotoxischen Schwermetallen mit anorganischen und organischen Komplexbildnern unter Verwendung von Radioisotopen und naturnahen Bedingungen
- Speziation von chemotoxischen Schwermetallen im System Schwermetall / Komplexbildner / Geomatrices mit der Methode der radioaktiven Mehrfachmarkierung
- Abschließende Auswertung, Dokumentation und Schlussberichterstellung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Syntheseoptimierung für die ^{14}C -Radiomarkierung von natürlichen Huminsäuren und Fulvinsäuren
- Chromatographische Charakterisierung von ^{14}C -markierten Huminsäuren
- Adsorptionsstudien von ^{14}C -markierten Huminsäuren an repräsentativen Geomatrices

Die Radiomarkierung von Huminstoffen mit ^{14}C via elektrophile Substitution am aromatischen Huminstoffgerüst wurde erstmalig hinsichtlich der Synthesebedingungen (pH, Temperatur, Molverhältnis Huminstoff/ ^{14}C -Precursor) entwickelt und optimiert. Zum Einsatz kamen Aldrich, M42, GoHy-532, eine terrestrische, eine aquatische und eine kohlestämmige Huminsäure sowie eine aquatische Fulvinsäure. Die Reinigung erfolgte durch mehrmaliges Ausfällen bzw. Ultrafiltration. Die radiochemischen Ausbeuten variieren je nach Huminstoff zwischen 3 und 10 %. Die spezifischen Aktivitäten liegen zwischen 4 und 13 MBq/g Huminstoff. Mittels GPC wurden die nominalen Molekulargewichte von ^{14}C -M42 (69,7 kDa) und ^{14}C -Aldrich-HS (18,0 kDa) bestimmt. Die Freundlich-Adsorptionsparameter von ^{14}C -M42 (FZR) und ^{14}C -Aldrich-HS (IIF) wurden für Seesand (pH 5), Granit (pH 6) und Diabas (pH 7,9) im Konzentrationsbereich von 13 $\mu\text{g/l}$ bis 40 mg/l bestimmt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Adsorptionsstudien mit ^{14}C -markierten Huminstoffen an Kaolinit unter Variierung von Konzentration, pH und Fest-Flüssig-Phasen Verhältnis
- Adsorptionsstudien mit den Radiotraceren ^{64}Cu und ^{197}Hg an Kaolinit unter Variierung von Konzentration, pH und Fest-Flüssig-Phasen Verhältnis
- Adsorptions/Desorptionstudien von ^{14}C -markierten Huminsäuren an repräsentativen Geomatrices
- Einfluss von divalenten Schwermetallen auf das Sorptionverhalten von ^{14}C -markierten Huminstoffen an repräsentativen Geomatrices

5. Berichte, Veröffentlichungen

- A. Mansel, H. Kupsch: „Speciation in the ternary system heavy metal ion / humic acid / geomatrix at very low metal ion concentrations by using radionuclides.“ 5th International Symposium of Elements in Biological, Environmental and Toxicological Sciences, Almunecar (Spanien), 13. – 16. September 2003, Posterpreis.
- A. Mansel, H. Kupsch: „Untersuchung der Sorption von radiomarkierten Huminsäuren an Geomatrices.“ 12. Huminsäure-Workshop des BMBF/BMWA, Dresden, 05. - 06. November 2003.
- A. Mansel, H. Kupsch: „Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen/anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle.“ Wissenschaftliche Berichte, in: Untertägige Entsorgung, FZKA-PTE Nr. 8, August 2003, 267-276.
- A. Mansel, H. Kupsch, J. Steinbach: „Speziation im ternären System Schwermetallion / Huminsäure / Geomatrix bei sehr geringen Metallionenkonzentrationen unter Verwendung von Radionukliden.“ GDCh Jahrestagung Chemie 2003, München, 6. – 11. Oktober 2003.
- A. Mansel, H. Kupsch: „Influence of geochemical parameters on the mobility of metal-humate complexes.“ in: Environmental Radiochemical Analysis II, P. Warwick (Ed.), Special Publication No. 291, Oktober 2003, RS-C, Athenaeum Press Ltd, Gateshead, Tyne & Wear, UK, 368-372.

Zuwendungsempfänger: GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG, Straße der Einheit 9, 06179 Teutschenthal		Förderkennzeichen: 02 C 0942
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2002 bis 31.10.2004	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 470.201,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Knoll	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1 Geochemisch-lösungskinetische Voraussetzungen und technisch-konstruktive Maßnahmen zur Verhinderung von Lösungserscheinungen im Verschlussbereich
AP1 widmet sich der Analyse vorliegender Erkenntnisse und Erfahrungen als Basis der Detailuntersuchungen zu den nachfolgenden AP.
- AP2 Analyse der Wirkungsbedingungen und Ableitung der Anforderungen
Das inhomogene und leichtlösliche Salzgestein Carnallit stellt an das AP2 besondere Anforderungen.. Im Zentrum der Untersuchungen steht die Ermittlung der In-Situ-Permeabilität in der unmittelbaren Umgebung der Grubenbaue an den potentiellen Dammstandorten.
- AP3 Charakterisierung und Modellierung der ALZ als Werkzeug zur Bemessung des Verschlusses.
Die dazu notwendigen umfangreichen Untersuchungen über das Entfestigungsverhalten des anstehenden Carnallits mit deformationsabhängiger Entfestigung ermöglichen die Stoffmodelle an das spezifische Problem der Auflockerungszone im Carnallit anzupassen und die erforderlichen geomechanischen Parameter zu bestimmen.
- AP4 Voraussetzungen für eine lösungsinduzierte Kristallisation zur Abdichtung der ALZ
AP4 widmet sich den Möglichkeiten der Abdichtung der ALZ durch Kristallisation von Mineralen, die gegenüber Carnallit stabil sind und die durch Erzeugen eines Quell-/Schwelldruckes die Dichtwirkung erhöhen können.
- AP5 Wirkprinzipien und Möglichkeiten für eine langzeitliche Ertüchtigung der ALZ
Untersuchung der Penetration (Intrusion) von gelförmigen und anderen Baustoffen und mineralogischen Pasten zum Verschluss von Rissen und Poren in der ALZ; Untersuchung der Möglichkeiten, frisch freigelegte Konturflächen bis zum Dammeinbau vor Erosion zu schützen.

AP6 Mögliche Baumaterialien

Die Analyse von Erfahrungen sowie Labor- und In-Situ-Tests führten zur Reduzierung der Zahl möglicher Baustoffe in carnallitischer Umgebung. Zu den ausgewählten Baustoffen erfolgen gezielte Labor- und In-Situ-Untersuchungen.

AP7 Entwicklung eines Grundkonzeptes

Die Entwicklung eines Grundkonzeptes erfolgt nach Abschluss der Voruntersuchungen zu den AP1 bis AP6; es dient als Basis für die nachfolgende Errichtung von Versuchsperrbauwerken.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Erstellung eines Teilberichtes zum AP1.
- Durchführung feinstratigrafischer Analysen in situ als Basis der Interpretation der Permeabilitätsmessdaten.
- Neuartige Untersuchungen und Ergebnisse über die In-Situ-Permeabilität der ALZ im Carnallit durch systematische Messungen.
- Grundsatzuntersuchungen zu Dammbaustoffen in situ und im Labor.
- Weiterführung der Untersuchungen zur Polyhalitbildung; Testung der Umlösung von R-Lösung mit Calciumsulfathydrat-Magnesium-Sulfathydrat-Carnallit Mineralmischungen.
- Untersuchungen der Festigkeit und Permeabilität der Fuge zwischen Carnallit und verschiedenen potentiellen Dammbaustoffen.
- Geomechanische Laboruntersuchungen an carnallitischen Salzgesteinen der Dammeinbaustellen.

Ergebnisse

- Die Kenntnis des Aufbaus und der Eigenschaften der ALZ im Carnallit konnte wesentlich vertieft und der Einwirkungsbereich der mechanischen und der geochemischen Auflockerung abgegrenzt werden.
- Die prinzipiell geeigneten Baustoffe für Absperrbauwerke wurden auf wenige besonders geeignete Stoffe eingegrenzt.
- Es wurden Mineralmischungen gefunden, in denen die Polyhalitbildung in Gegenwart von R-Lösung relativ schnell abläuft.
- Zur Sicherung freigelegter Oberflächen an den späteren Dammeinbaustellen vor Erosion wurden geeignete Technologien und Stoffe ermittelt
- Ein Teilbericht zum AP1 wurde erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Labor- und In-Situ-Untersuchungen der Eigenschaften der ausgewählten Dammbaustoffe.
- Feinstratigrafische Untersuchungen in situ und an Bohrkernen zur verbesserten Interpretation der gewonnenen Daten und zur Eingrenzung der mineralbedingten geomechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Carnallits.
- Untersuchungen zum Einsatz nichtinvasiver geophysikalischer Messverfahren zur Analyse der Ausbildung der ALZ
- Ermittlung geomechanischer Parameter für rechnerische Modellierungen der komplexen Dammbauwerke und ihrer unmittelbaren Umgebung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Projektinterner Teilbericht zu AP1; keine Publikationen

Zuwendungsempfänger: TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38670 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 0952
Vorhabensbezeichnung: Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2002 bis 30.09.2005	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 741.130,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Pusch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Im experimentellen Programm werden laborative Messung der Gaspermeation an ungestörten Salzkernen und Untersuchungen der Kapillar- und Gassperrdrücke an Salzpresslingen und Sandsteinreferenzmaterial zur Korrelation der Prozessabläufe an dilatant aufgelockerten Salzkernen in Anwesenheit einer Lagenphase durchgeführt. In-situ-Gasinfiltation- und Gasfracversuche zur Bestimmung des Druckaufbaus (Sperr- bzw. Fracdruck) und Messung des Gastransportes bei gleichzeitiger räumlicher Lokalisierung des gebildeten Rissystems durch Schallemissions- und Durchschallungsmessungen bilden das Feldexperimentprogramm.

Die aus den Untersuchungen abgeleiteten Ergebnisse sollen eine sichere Basis für die Prozess-Simulation der Gasausbreitung aus einem unterirdischen Grubenbau in das Wirtsgestein bilden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben umfasst folgende Arbeitspunkte:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Versuche mit verschiedenen Gasporendrücken bei unterschiedlichen triaxialen Belastungen
- Verfolgung des durch die triaxialen Versuche hervorgerufenen Rissystems mittels Computerröntgentomographie
- Bau und Test eines Porosimeters für dilatant verformte Probenkörper mit geringer Porosität
- Neukonstruktion einer Salzpresslingzelle zur Herstellung von Kernen mit $\varnothing = 60\text{mm}$
- Einrichtungsarbeiten zum Setzen des Packers am untertägigen Versuchsort im Werk Bernburg

Ergebnisse:

Nach den ersten Versuchen ist zu erkennen, dass sich die Ergebnisse von Kurzzeitversuchen (einige Stunden) gegenüber Langzeitversuchen (mehrere Tage) deutlich unterscheiden. Des Weiteren ist eine starke Abhängigkeit vom Poreninnendruck zu erkennen. Bei Verheilungsversuchen ist zu erkennen, dass die Permeabilität von dilatant verformten Salzkörpern wieder stark abnimmt. In der Röntgencomputertomographie ist jedoch zu sehen, dass sich das gebildete Rissystem nicht wieder vollständig schließt. Es bleiben Fluideinschlüsse in einer Größenordnung bis zu 1mm bestehen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden programmgemäß weitergeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0963	
Vorhabensbezeichnung: Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheits Gesichtspunkten			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2003 bis 31.03.2005		Berichtszeitraum: 01.10.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 109.892,00 EUR		Projektleiter: Sander	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung von statistisch abgesicherten Beziehungen zwischen dem Chemismus von Salzlösungszutritten in Kalibergwerken Mitteldeutschlands und ihrem geologisch-tektonischen sowie bergbaulichen Umfeld. Vorgesehen sind die Erfassung und Auswertung des in der ehemaligen Kaliforschung der DDR gesammelten Datenmaterials zu Salzlösungszuflüssen. Es werden die Beziehungen des Chemismus der Salzlösungen zur Ausbildung der Schichtenfolge, zur Bruchtektonik und zur Subrosion untersucht. Das Vorhaben wird in einer Kooperation der GRS mit Dr. A. Schwandt/Erfurt durchgeführt. Dr. Schwandt stellt das Datenmaterial und die geologisch-tektonischen und bergbaulichen Detailinformationen zur Verfügung. GRS erarbeitet eine Datenbankstruktur zur Aufnahme der vorhandenen Daten. Von GRS werden die Daten auf Plausibilität und Ausreißer überprüft. Bei der exemplarischen Auswertung des teilweise schon historischen Datenmaterials wird erstmalig der Ansatz verfolgt, geochemische und geologische Daten mit der Betrachtungsweise der Langzeitsicherheitsanalyse zusammenzuführen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Sichtung der Archive und Auswahl von geeigneten Analysendaten von Lösungszuflüssen und dazugehörigen geologischen, tektonischen und bergmännischen Informationen.

AP2: Übertragung der Daten in ein Datenbanksystem und Auswertung nach festzulegenden Kriterien.

AP3: Abschlussbericht.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Vergabe des Unterauftrags an Dr. Schwandt und Beginn der Arbeiten in Erfurt und in Braunschweig

4. Geplante Weiterarbeiten

Auswahl und Erfassung der Daten. Beginn mit den Arbeiten zur Typisierung der Zuflüsse.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0973	
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2003 bis 31.08.2006		Berichtszeitraum: 01.10.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 407.425,00 EUR		Projektleiter: Dr. Mönig	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es werden anwendbare Strategien entwickelt, die bei untertägigen Abfalldeponierungen eine erhebliche Verringerung einer durch Einwirkung von Wässern verursachten Schadstofffreisetzung bewirken. Die Arbeiten konzentrieren sich dabei auf die Schwermetalle Cd, Pb und Zn. Die experimentellen Untersuchungen berücksichtigen die UTD-relevanten Bedingungen, wobei erstmals auch langsam ablaufende Prozesse gezielt studiert werden. Geochemische Modellrechnungen werden als Prognosetool eingesetzt, um Strategien zur Minimierung der Quellterme zu entwickeln, die im Normalfall in der Beeinflussung des geochemischen Milieus durch Zugabe von geeigneten Stoffen bestehen. Die Wirksamkeit der Strategien wird anhand erneuter Auslaugversuche überprüft.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Experimentelle Untersuchungen zur Schadstoffmobilisierung unter Normalbedingungen mit Hilfe von Batch-Versuchen und geeigneten Langzeittests sowie geochemische Modellrechnungen zur Entwicklung der Lösungsentwicklung bis hin zu UTD-relevanten Feststoff/Lösungsverhältnissen.
- AP 2: Entwicklung von Strategien zur Minimierung des Quellterms für die Schadstoffe und systematische Bewertung der verschiedenen Möglichkeiten auf der Basis von geochemischen Modellrechnungen.
- AP 3: Experimentelle Überprüfung der verringerten Schadstoffmobilisierung und Bewertung der Effizienz der Minimierungsstrategien.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Der Prototyp einer Messzelle für die Durchführung von Langzeitversuchen, bei denen das Feststoff/Lösungsverhältnis während des Versuches gezielt erhöht werden kann und gleichzeitig eine Probenahme der Lösung möglich ist, ohne das System zu stören, wurde entwickelt und gebaut (ELISA-Zelle).
- Erste Testuntersuchungen mit der neuen ELISA-Zelle wurden begonnen, um die Praxis-tauglichkeit für die geplanten Langzeitversuche zu überprüfen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortsetzung der Testuntersuchungen mit der ELISA-Zelle. Beschaffung weiterer, ggf. modifizierter ELISA-Zellen.
- Beginn der Batch-Untersuchungen zur Schadstoffmobilisierung aus den Beispielabfällen unter Normalbedingungen
- Identifizierung der Prozesse, die bei den Beispielabfällen zur Schadstofffreisetzung führen, anhand von geochemischen Modellrechnungen

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0983
Vorhabensbezeichnung: Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 31.08.2006	Berichtszeitraum: 01.09.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 651.132,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hagemann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Planung isopiesterischer Versuche, Beschaffung von Reinstchemikalien.

4. Geplante Weiterarbeiten

Beginn isopiesterischer Messungen in den Systemen mit Cu(II), Ni(II), Cr(VI), Co(II), Mn(II), Cu(I), As(III), As(V).

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0993
Vorhabensbezeichnung: Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und alumosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C bis 90° C		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 31.08.2006	Berichtszeitraum: 01.09.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 612.425,00 EUR	Projektleiter: Dr. Meyer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1 - Literaturrecherche

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

AP 3 - Löslichkeit einfacher Silikate und Aluminate

AP 4 - Parameterberechnung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Im Arbeitspaket 1 ist bereits Literatur beschafft und bewertet worden
- Voruntersuchungen zur Filtration silikatischer Lösungen bei erhöhten Temperaturen wurden vorgenommen
- Erstellung des ersten Entwurfs für die HECC-Zelle

4. Geplante Weiterarbeiten

Im Zuge einer Literaturrecherche sollen geeignete Daten über die Löslichkeit von Aluminiumoxiden, -hydroxiden, Siliziumoxiden und einfachen Alkali- und Erdalkalisilikaten in Lösungen der ozeanischen Salze (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO₄) für Temperaturen zwischen 30°C und 90°C gesammelt werden.

Die Löslichkeit amorpher Kieselsäure wird im Temperaturbereich zwischen 30°C und 90°C in Lösungen der Salze des ozeanischen Systems in jenem pH-Bereich, in dem die Si-Spezies H₃SiO₄⁻ oder H₂SiO₄²⁻ vorherrschend sind, experimentell untersucht. Parallel dazu werden potentiometrische Titrations an silikathaltigen Lösungen derselben Systeme vorgenommen. An ausgewählten Lösungen erfolgt eine Bestimmung des Dimerisierungsgrades mit Hilfe der Molybdatmethode oder instrumenteller Analytik (²⁹Si-NMR, ²⁷Al-NMR). Im neutralen pH-Bereich werden Löslichkeitsmessungen von amorpher Kieselsäure in K₂SO₄-Lösungen vorgenommen.

Weiterhin wird die Löslichkeit von Gibbsit, Al(OH)₃, im pH-Bereich >9 in den Systemen NaCl-H₂O, KCl-H₂O, CaCl₂-H₂O, Na₂SO₄-H₂O und K₂SO₄-H₂O untersucht. Das Verhalten von Aluminium in neutralen Lösungen wird durch Kombination von Löslichkeitsmessungen und potentiometrischen Messungen untersucht. An einzelnen sauren Lösungen der Systeme vom Typ Al-M-X-H₂O (M= Na, K, Mg; X= Cl, SO₄) erfolgen Löslichkeitsmessungen. Welche Systeme im Einzelnen im AP2 untersucht werden, richtet sich nach den experimentellen Datenlücken, die im Rahmen der Literaturstudie (AP 1) identifiziert werden.

An einigen ausgewählten Silikaten, Aluminaten und Alumosilikaten Löslichkeitsmessungen in verschiedenen Salzlösungen bei unterschiedlichen Temperaturen (bis 90°C) durchgeführt. Auf der Basis dieser Werte werden die Löslichkeitskonstanten dieser Verbindungen berechnet.

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

2.4 W-Vorhaben

Zuwendungsempfänger: FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		Förderkennzeichen: 02 W 6218
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung digitaler Safeguardstechniken zur Verbesserung der Effektivität und der Kosteneffizienz und Anpassung an das neue Safeguardssystem INFCIRC/540		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung		
Laufzeit des Vorhabens: vom 01.01.1999 bis 31.07.2003	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.07.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.277.073,16 EUR	Projektleiter: 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 Kontrollsystemen
- 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 und ErgebnisseTEIL I Vernetzbare, miniaturisierte, fernabfragbare Überwachungstechniken

Fertigstellung des Abschlussberichtes und Zusammenstellung aller Ergebnisse.

TEIL II Auswertung von Open Sources (Satellitenerkundung)

Zusammenstellung der Ergebnisse.

4. Geplante WeiterarbeitenTEIL I Vernetzbare, miniaturisierte, fernabfragbare Überwachungstechniken

Das Vorhaben ist abgeschlossen, offene Punkte sollen im Rahmen des IAEO-Unterstützungsprogramms bearbeitet werden.

TEIL II Auswertung von Open Sources (Satellitenerkundung)

Das Vorhaben ist abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Abschlussbericht „Digital Unattended Multi-channel Analyzer DIUM, Auslegungskonzept und Spezifikationen“, von J. Stein, A. Gueorguiev, H. Brands, A. Kreuels und B. Richter, Jülich, Juli 2003.

Zuwendungsempfänger: FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		Förderkennzeichen: 02 W 6232
Vorhabensbezeichnung: Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2002 bis 31.05.2005	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 344.241,00 EUR	Projektleiter: Dr. Stein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am 22.10.03 trat die Projektgruppe im Hause der DGAP in Berlin unter der Leitung von Prof. Dr. K. Kaiser (in Vertretung des Vorsitzenden Herrn Jörg van Essen MdB) zu einer Arbeitssitzung zusammen. 35 Mitglieder und Gäste nahmen teil. Erörtert wurden die aktuellen Nuklearkrisen in Iran und Nordkorea und ihre internationalen Auswirkungen. Herr Dr. O. Thränert (Stiftung Wissenschaft und Politik, Berlin) kommentierte die Entwicklung in Iran und Herr Dr. S. Harnisch (Universität Trier) diejenige in Nordkorea. Herr VLR I R. Lüdeking (Auswärtiges Amt, Berlin) erläuterte die Sicht der Bundesregierung zu den iranischen und nordkoreanischen Vorgängen und ihre Bedeutung für die deutsche und europäische Nichtverbreitungspolitik. Über die amerikanische Diskussion zur Iran- und Nordkoreafrage berichtete Herr Prof. Dr. K. Kaiser (z. Zt. Harvard University). Alle Mitglieder der Projektgruppe erhielten inzwischen ein Protokoll der Sitzung.

4. Geplante Weiterarbeiten

Es sind für das Jahr 2004 weitere Sitzungen der Projektgruppe mit kleineren Workshops vorgesehen, die sich weiterhin mit der aktuellen Situation zu Massenvernichtungswaffen in Irak, Iran und Nordkorea beschäftigen sollen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

E. Häckel und G. Stein (Hrsg.); Internationale Kontrolle sensitiver Technologien, Verlag Leske und Budrich, 2003.

Zuwendungsempfänger: FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		Förderkennzeichen: 02 W 6243
Vorhabensbezeichnung: Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2003 bis 31.07.2007	Berichtszeitraum: 01.08.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 769.798,00 EUR	Projektleiter: Dr. Stein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Programmpunkte und Arbeitspakete sind

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

Die Arbeiten erfolgen im internationalen Kontext nach vorgegebenen Zeitplänen von BMWA, Euratom und IAEO, parallel laufend und unter Einbeziehung in internationale Diskussionen. Sie zielen auf die Bereitstellung von Arbeitspapieren, Techniken und Veröffentlichungen, den Bau von Geräten und die Übernahme der Ergebnisse durch BMWA, Euratom und IAEO.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

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

4. Geplante Weiterarbeiten

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

2.5 BMWA-Hausvorhaben

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E)		Förderkennzeichen: KWA 2003
Vorhabensbezeichnung: Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2003 bis 31.12.2005	Berichtszeitraum: 01.07.2003 bis 31.12.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.317.055,00 EUR	Projektleiter: Dipl.-Ing. W. Bechthold	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens ist die Koordinierung der Mitarbeit deutscher Wissenschaftler an den internationalen Forschungsprogrammen zu den alternativen Wirtsgesteinen Granit und Ton. Diese Mitarbeit dient in erster Linie der weiteren Vertiefung der Kenntnisse über die Mobilität und Ausbreitung von Radionukliden in der Umgebung eines Endlagers und der Verbesserung der Instrumentarien für die Charakterisierung des Endlager-Wirtsgesteins und für die Durchführung von Endlager-Sicherheitsanalysen. Zur Erreichung dieser Aufgabenstellung werden In-situ-Untersuchungen in den Untertagelabors, Laborversuche an den Standorten der beteiligten Institutionen und Modellentwicklungen und -rechnungen durchgeführt. Ein weiteres wesentliches Ziel ist die Mitarbeit in internationalen Arbeitsgruppen, die den Erfahrungsaustausch und die Kenntniserweiterung auch auf den an die o. g. Ziele angrenzenden Gebieten ermöglicht.

Die Arbeiten sind eingebunden in internationale Zusammenarbeits-Programme in den Untertagelabors Felslabor Grimsel (CH), HRL Äspö (S), Mt. Terri (CH) und Bure (F).

Die FuE-Vorhaben werden bei BGR, DBE Technology, FZK, FZR, GRS, TU Clausthal und Uni Stuttgart durchgeführt. Sie werden ausführlicher in den formalisierten Zwischenberichten in Kapitel 2.1 beschrieben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

FuE-Arbeiten zu Hartgesteinen/Granit im FL Grimsel und im HRL Äspö

(Vorhaben 02E9198, 02E9249, 02E9279, 02E9390, 02E9430, 02E9491, 02E9743, FZK/INE (Grundfinanzierung des FZK), BGR (Haushaltsmittel der BGR))

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

(Vorhaben 02E9400, 02E9420, 02E9501, 02E9531, 02E9541, 02E9602, 02E9713, 02E9773, FZK/INE, BGR)

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Vorhaben sind eingebunden in internationale Projekte. Innerhalb der Vorhaben wurden die folgenden Arbeiten ausgeführt:

Hartgestein/Granit

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

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

Ton/Tonstein

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

- In-Situ- und Labor-Untersuchungen zur Gas-Erzeugung, -Freisetzung und -Ausbreitung im Tongestein und in den Versatzmaterialien unter dem Einfluss von Strahlung bei Raumtemperatur und bei 90 bis 100°C.
- Ermittlung relevanter, zur Beschreibung des Materialverhaltens erforderlicher Gesteinsparameter, und Entwicklung von Modellen zur Berechnung von gekoppelten HM-Prozessen.
- Weiterentwicklung der Methoden zur Messung der thermischen und hydraulischen Effekte auf das Wirtsgestein.

Die Ergebnisse sind in den jeweiligen Vorhaben dokumentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im Berichtszeitraum waren insgesamt 15 Vorhaben in die internationalen Programme zur Untersuchung alternativer Wirtsgesteine eingebunden. Davon ist die Laufzeit von drei Vorhaben beendet worden (02E9420, 02E9430 und 02E9541). Im zweiten Halbjahr 2004 wird die Laufzeit von fünf weiteren Vorhaben beendet, voraussichtlich werden fünf neue Vorhaben gestartet.

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

Siehe Berichte zu den einzelnen Vorhaben in Kapitel 2.1.

3 Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen

Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99421 Weimar		
02 C 0881	Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement	138
BUTEC Umwelttechnik GmbH, Düsseldorfer Straße 32-34, 65760 Eschborn		
02 E 9340	Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen	26
DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		
02 E 9249	Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt des Nachweises der Betriebssicherheit in einem Endlager	20
02 E 9511	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	52
02 E 9521	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)	54
02 E 9531	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	56
02 E 9571	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen	64
02 E 9612	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	72
02 E 9642	Untersuchungen zur Endlagerung in Großbohrlöchern	78
02 E 9733	Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein	96
02 E 9743	Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö	98
Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich		
02 E 9803	Untersuchungen zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager	110
02 W 6218	Entwicklung digitaler Safeguardstechniken zur Verbesserung der Effektivität und der Kosteneffizienz und Anpassung an das neue Safeguardssystem INFCIRC/540	162
02 W 6232	Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen	164
02 W 6243	Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen	166

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe
--

- | | | |
|-----------|---|-------|
| 02 C 0810 | Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung | 📖 124 |
| KWA 2003 | Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine | 📖 170 |

Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR), Postfach 510119, 01314 Dresden
--

- | | | |
|-----------|--|------|
| 02 E 9471 | Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle | 📖 44 |
| 02 E 9491 | Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters | 📖 48 |
| 02 E 9673 | Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen | 📖 84 |

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastraße 27 C, 80686 München
--

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

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Schwertnergasse 1, 50667 Köln

- | | | |
|-----------|--|-------|
| 02 C 0689 | Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien | 📖 116 |
| 02 C 0710 | Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten | 📖 118 |
| 02 C 0830 | Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar | 📖 128 |
| 02 C 0912 | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien | 📖 142 |
| 02 C 0963 | Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands | 📖 152 |
| 02 C 0973 | Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen | 📖 154 |
| 02 C 0983 | Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen | 📖 156 |
| 02 C 0993 | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C und 90° C | 📖 158 |
| 02 E 9148 | Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransports | 📖 12 |

02 E 9178	Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)	14
02 E 9198	Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel (Phase V)	16
02 E 9239	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	18
02 E 9279	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“	22
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	30
02 E 9400	Untersuchungen zur Gasentwicklung und –freisetzung im Boom Clay in Mol im Projekt: „Integrated in Situ Corrosion Test on Alpha-Active High Level Waste Glass – Phase 2“ CORALUS 2	32
02 E 9420	Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Allovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP	34
02 E 9430	Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin, Mitarbeit in der Task Force „EBS“ des HRL Äspö	36
02 E 9440	Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers	38
02 E 9461	Untersuchung der chemischen und hydrochemischen Wechselwirkungen von Ton/Zement-Systemen; ECOCLAY – Phase II	42
02 E 9541	Vorprojekt zur Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im URL Bure	58
02 E 9501	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinustons im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor	50
02 E 9551	Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen	60
02 E 9561	Modellentwicklung zur Quellung hochkompaktierter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 – 120°	62
02 E 9592	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	68
02 E 9602	Untersuchungen zur Gaserzeugung und –freisetzung sowie dem Wassergehalt und der Wasserumverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels	70
02 E 9622	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	74
02 E 9713	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager, - SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor, Vorprojekt	92
02 E 9723	Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen	94

02 E 9773 Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor  104

02 E 9783 Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  106

02 E 9813 Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen  112

GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG, Straße der Einheit 9, 06179 Teutschenthal

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

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

02 C 0892 Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen  140

02 E 9582 Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2  66

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

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

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

02 C 0932 Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)  146

02 E 9663 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Entwicklung und Einsatz von Radiotracer für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen  82

02 E 9753 Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracerverfahren  100

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55122 Mainz

02 E 9653 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit  80

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

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

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

- 02 E 9793 Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  108

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

- 02 E 9703 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen  90

TU Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg

- 02 C 0820 Zeitliche Veränderungen der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften  126
- 02 E 9330 Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen  24

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

- 02 C 0720 Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie  120
- 02 C 0841 Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten  130
- 02 C 0952 Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge  150
- 02 E 9632 Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein  76

Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München

- 02 E 9360 Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  28
- 02 E 9450 Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden  40
- 02 E 9693 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe  88
- 02 E 9763 Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  102

Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover

- 02 E 9481 Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren  46

Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe

- 02 C 0922** Verschlussystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität  144

Universität Leipzig, Ritterstraße 26, 04109 Leipzig

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

Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66123 Saarbrücken

- 02 E 9683** Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit  86