

Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft

PTE Nr. 25

Bericht über die im ersten 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
August 2003

PTE-Berichte

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

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

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

Vorwort

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

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

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

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

Dem Bericht liegt folgendes Gliederungsprinzip zugrunde:

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

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

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

Die vom BMWA betreuten FuE-Vorhaben, die 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	105
2.4	W-VORHABEN	149
2.5	BMW-HAUSVORHABEN	155
3	Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....	159

1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen

1.1 Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten

02 C 0547	Entwicklung eines Grundkonzepts für langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke im Salinar -Bau und Test eines Versuchsverschlussbauwerkes unter realen Bedingungen-	TU Bergakademie Freiberg	📖 106
02 C 0800	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung	Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar	📖 118
02 C 0810	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	📖 120
02 C 0830	Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 124
02 C 0881	Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement	Bauhaus-Universität Weimar	📖 134
02 C 0942	Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV	GTS Grube Teutschenthal	📖 144
02 E 9118	Untersuchungen zur hydraulisch wirksamen Auflockerungszone um Endlagerbereiche im Salinar in Abhängigkeit vom Hohlraumabstand und Spannungszustand	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 12

1.2 Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien

02 C 0628	Modellrechnungen zur großräumigen dichteabhängigen Grundwasserbewegung	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 108
02 C 0669	Hydraulische Kennwerte von tonhaltigen Mineralgemischen zum Verschluss von Untertagedeponien	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 110
02 C 0689	Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 112
02 C 0710	Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 114
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	📖 116
02 C 0820	Zeitliche Veränderung der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften	TU Bergakademie Freiberg	📖 122
02 C 0841	Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 126
02 C 0851	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geosonar- und Ultraschallverfahren-	Fraunhofer Gesellschaft, München	📖 128
02 C 0861	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geoelektrik, Seismik, Geologie-	Universität Leipzig	📖 130
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	📖 132
02 C 0892	Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen	IfG, Institut für Bergbaumechanik GmbH, Leipzig	📖 136

02 C 0912	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 138
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	Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Karlsruhe	📖 140
02 C 0932	Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)	IIF e.V., Leipzig	📖 142
02 C 0952	Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 146
02 E 9138	Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des geochemischen Milieus in hochsalinaren Lösungen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 14
02 E 9148	Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransports	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 16
02 E 9178	Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 18
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	📖 20
02 E 9239	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 22
02 E 9249	Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt des Nachweises der Betriebssicherheit in einem Endlager	DBE Technology GmbH, Peine	📖 24
02 E 9259	Untersuchung des Spannungszustandes und des gebirgsmechanischen Verhaltens von Versatz und Wirtsgestein in Abhängigkeit von der Temperatur	IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 26
02 E 9269	Abschließende Auswertung des Projektes „Thermische Simulation der Streckenlagerung / Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar“	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 28
02 E 9279	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 30

02 E 9289	Versuchsfeldaufwältigung und Rückgewinnung von Materialproben und Messeinrichtungen	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE), Peine	☞ 32
02 E 9299	Untersuchungen über die Komplexierung und die Migration von Aktiniden und nichtradioaktiven Stoffen mit Huminsäuren unter geogenen Bedingungen – Komplexierung von Huminsäuren mit Aktiniden in der Oxidationsstufe IV Th, U, Np	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	☞ 34
02 E 9309	Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nichtradioaktiven Stoffen	Johannes Gutenberg-Universität, Mainz	☞ 36
02 E 9329	Komplexierung und Migration von Al, Ga, In, Sc, Y, La und Schwermetallen mit Huminsäure	Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Leipzig	☞ 38
02 E 9330	Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen	TU Bergakademie Freiberg	☞ 40
02 E 9340	Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen	BUTEC Umwelttechnik GmbH, Eschborn	☞ 42
02 E 9360	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden	TU München	☞ 44
02 E 9370	Weiterentwicklung von Simulationstechniken für Gas-Wasser-Prozesse in geklüftet-porösen Medien auf der Feldskala	Universität Stuttgart	☞ 46
02 E 9380	Migrations- und Sorptionsuntersuchungen geogener Lösungen in Wirtsgesteinsformationen (Tone, Tongestein, Salzgestein) mittels tomographischer Radiotracerverfahren (PET)	Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Leipzig	☞ 48
02 E 9390	Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt "Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock - Phase II" FEBEX II	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	☞ 50
02 E 9400	Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung im Boom Clay in Mol im Projekt: "Integrated in Situ Corrosion Test on Alpha-Active High Level Waste Glass - Phase 2" CORALUS 2	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	☞ 52
02 E 9410	Transport und Rückhaltung von Schadstoffen in alterierten Kluftbereichen des HRL Äspö	TU-Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	☞ 54
02 E 9420	Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Allovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	☞ 56

02 E 9430	Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin, Mitarbeit in der Task Force "EBS" des HRL Äspö	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 58
02 E 9440	Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 60
02 E 9450	Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden	TU München	📖 62
02 E 9461	Untersuchung der chemischen und hydrochemischen Wechselwirkungen von Ton/Zement-Systemen; E-COCLAY - Phase II	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 64
02 E 9471	Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 66
02 E 9481	Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren	Universität Hannover	📖 68
02 E 9491	Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 70
02 E 9501	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinustons im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 72
02 E 9511	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 74
02 E 9521	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 76
02 E 9531	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	DBE Technology GmbH, Peine	📖 78
02 E 9541	Vorprojekt zur Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im URL Bure	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 80
02 E 9551	Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 82
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	📖 84
02 E 9571	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen	DBE Technology GmbH, Peine	📖 86
02 E 9582	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 88

02 E 9592	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 90
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	📖 92
02 E 9612	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	DBE Technology GmbH, Peine	📖 94
02 E 9622	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 96
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	📖 98
02 E 9642	Untersuchungen zur Endlagerung in Großbohrlöchern	DBE Technology GmbH, Peine	📖 100
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	📖 102
KWA 2003	Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	📖 156

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 | 📖 150 |
| 02 W 6232 | Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen | Forschungszentrum Jülich GmbH | 📖 152 |

2 Formalisierte Zwischenberichte

2.1 E-Vorhaben

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9118
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur hydraulisch wirksamen Auflockerungszone um Endlagerbereiche im Salinar in Abhängigkeit vom Hohlraumabstand und Spannungszustand		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.1998 bis 30.04.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.04.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.113.505,51 EUR	Projektleiter: Dipl.-Geophys. Wiczorek	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AS1: Geoelektrische Kartierung der Versuchsorte

AS2: Labormessungen

AS3: Gebirgsspannungsmessungen

AS4: Permeabilitätsmessungen mit Gas

AS5: Bestimmung der Permeabilität im unmittelbaren Nahbereich von Hohlräumen

AS6: Modellierung des mechanischen Zustandes

AS7: Vergleich Hydraulik - Mechanik und abschließende Auswertung

AS8: Projektmanagement und Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten

AS3: Die Auswertung der Gebirgsspannungsmessungen durch mechanische Modellierung war nicht erfolgreich. Die Überbohrversuche konnten nicht sinnvoll nachmodelliert werden.

AS4: Die Auswertung der Permeabilitätsmessungen im TSDE-Versuchsfeld wurde beendet.

AS6: Die mechanische Modellierung von AHE-Strecke und Kammer 8/8b auf der 532-m-Sohle wurde mittels zweidimensionaler Plane-Strain-Modellierung durchgeführt; zur Spannungsrandbedingung wurden Messwerte und Informationen aus anderen Projekten herangezogen.

AS7: Die Permeabilitätsmesswerte wurden in Beziehung zu den jeweils durch Modellierung ermittelten Spannungszuständen gesetzt und eine empirische Relation zur Abschätzung der maximalen Permeabilität vorgeschlagen.

AS8: Der Abschlussbericht zum Vorhaben ist in Vorbereitung.

4. Ergebnisse

AS4: Die Permeabilitätsmessungen lieferten erwartungsgemäß sehr hohe Werte im Sohlenbereich des TSDE-Feldes; als Folge der Rissbildung bei der Abkühlung. Unter dem Pfeiler ist keine erhöhte Permeabilität festzustellen.

AS7: Die Darstellung der Permeabilität in Abhängigkeit vom Quotienten aus Deviatorischer Spannung und Quadrat der mittleren Normalspannung zeigt eine Grenze, die von der Permeabilität nicht überschritten wird. Dies gilt nicht für die Permeabilitätswerte aus dem ausgebauten Bereich der Dammjochstrecke, wo zwar eine Reduktion der Permeabilität stattgefunden hat, die aber trotz nahezu homogener Spannungsverhältnisse nicht auf den Wert für ungestörtes Steinsalz zurückgegangen ist. Falls eine vollständige Verheilung stattfindet, ist der erforderliche Zeitraum offenbar erheblich länger als 85 Jahre.

5. Geplante Weiterarbeiten

Das Vorhaben wurde beendet.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9138	
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des geochemischen Milieus in hochsalinaren Lösungen			
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 31.03.2003		Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 31.03.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.405.386,46 EUR		Projektleiter: Dr. Moog	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst drei Arbeitspakete.

AP 1: Thermodynamische Modellierung

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

AP 2: Laborarbeiten

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

AP 3: Langzeitsicherheit

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

3. Durchgeführte Arbeiten

Löslichkeitsbestimmungen in den Systemen $\text{H}_2\text{S}-\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{S}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{S}-\text{MgCl}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{S}-\text{Na}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ und $\text{H}_2\text{S}-\text{MgSO}_4-\text{H}_2\text{O}$, Abfassung des Abschlussberichtes.

4. Ergebnisse

In den untersuchten sulfatischen Systemen wurde ein stärkerer Aussalzeffekt beobachtet als in den Systemen mit Chlorid. Mit den entwickelten Pitzer-Parametern ließen sich die beobachteten Löslichkeiten gut nachvollziehen.

5. Geplante Weiterarbeiten

keine

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

in Vorbereitung

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Die wesentlichen Entwicklungsarbeiten am Programmpaket r^3t sind abgeschlossen. Die Hauptarbeit liegt zur Zeit in der Dokumentation der Ergebnisse und der Entwicklung der endgültigen Form der Skriptdatei, die der Steuerung der Numerik bei der Durchführung von Rechenläufen dient. Vor Kurzem wurde mit der Entwicklung einer graphischen Oberfläche zur Erstellung dieser Skriptdatei in Java begonnen.

Es wurden zwei größere Testrechnungen zwei- bzw. dreidimensional durchgeführt. Dabei wurden jeweils 26 Radionuklide mit einem stationären Dichte getriebenen Strömungsfeld (d^3f) transportiert. Die Sorption wurde nach dem K_d -Konzept modelliert. Der modellierte Zeitraum betrug jeweils 10 000 Jahre. Die Rechnungen wurden sowohl uniform als auch adaptiv auf Linux-Workstation-Clustern durchgeführt.

Bei der GRS werden weiterhin Testrechnungen durchgeführt. Diese Tests werden in einer "Testcase Library" gesammelt und dokumentiert. Eventuell auftretende Fehler werden von den Programmierern behoben. Inzwischen wurde mit der Erstellung des Abschlussberichtes " r^3t - A Program Suite to Model Transport and Retention in Porous Media" und des Handbuchs "User's Manual" begonnen.

Am 27. und 28. Mai 2003 fand in Karlsruhe das 6. Projektstausgespräch des PtWT+E statt.

4. Ergebnisse

keine

5. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

- Dimitrova Micha, J.; Attinger, S.; Kinzelbach, W.: Modeling of ensemble and real mixing in nonlinearly adsorbing transport. Submitted to Advances in Water Resources, 2003.
- Dimitrova Micha, J.; Attinger, S.; Kinzelbach, W.: Note on the transport of nonlinearly reactive transport in a single heterogeneous formation. Submitted to Nuclear Science and Engineering, 2003.
- Attinger, S.; Dimitrova Micha, J.; Kinzelbach, W.: Multi-Scale Modeling of Nonlinearly Adsorbing Solute Transport. Accepted by SIAM Multiscale Modeling and Simulation, 2003.
- Dimitrova Micha, J.; Attinger, S.; Kinzelbach, W.: Characterization of Effective Nonlinear Adsorbing Transport in Heterogeneous Porous Media, IAHS Redbook 2003, Calibration and Reliability in Groundwater Modelling.
- Ohlberger, M.: Higher order finite volume methods on selfadaptive grids for convection dominated reactive transport problems in porous media. Submitted to Computing and Visualization in science, 2002.
- Fein, E.: Transportmodellierung mit dem Programm r^3t . Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 771.126,32 EUR	Projektleiter: Dr. Buhmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten

AS1: Dokumentation der Programmänderungen und der Ergebnisse

AS3: Definition der Rechenfälle zur Untersuchung der Überlagerung von Advektion und Konvektion,
Rechnungen mit den Programmen LOPOS und d3f.

AS5: Dokumentation der Vorgehensweise bei probabilistischen Rechnungen und Dokumentation der Ergebnisse bei neuer Vorgehensweise

AS8: Beginn der Abschlussdokumentation.

4. Ergebnisse

AS1: Die Dokumentation liegt vor.

AS3: Die Rechnungen wurden durchgeführt und zeigen eine zufrieden stellende Übereinstimmung.

AS5: Die Dokumentation liegt vor.

5. Geplante Weiterarbeiten

AS3: Fertigstellung der Untersuchungen zur Überlagerung von Advektion und Konvektion

AS8: Fertigstellung der Abschlussdokumentation. Diese Dokumentation wird alle Dokumente umfassen, die im Rahmen der Arbeitsschritte AS1 bis AS7 angefertigt wurden.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

In Zusammenarbeit mit NAGRA ist ein Konzept für die Gasinjektion und die ergänzenden Messungen zur Gasmigration erstellt worden. Dieses Konzept soll in einer Projektsitzung am 2. und 3. Juli 2003 den Versuchsbeteiligten vorgestellt und mit ihnen diskutiert werden.

Im Labor ist mit den Messungen zur Gas- und Wasserpermeabilität an Proben der verschiedenen Baustoffe begonnen worden.

4. Ergebnisse

Aus der Gasinjektion und den Laboruntersuchungen liegen bisher keine Ergebnisse vor.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Abstimmung der Gasinjektion und der ergänzenden Messungen mit den Versuchsbeteiligten.
- Beginn der Gasinjektion und der begleitenden Messungen (Herbst 2003)
- Laboruntersuchungen zur Ermittlung der hydraulischen Parameter der verschiedenen Baustoffe.

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

keine

7. 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.572.861,45 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

- TA 1: - Teilnahme an der 35. Sitzung des RWMC mit zusammenfassender Darstellung der aktuellen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der geologischen Endlagerung.
- Mitarbeit an den Arbeiten für ein „Network of Excellence“ (NoE) zum Thema Geological Disposal of Radioactive Waste (Geodisnet).
 - Mitarbeit im Komitee zur Vorbereitung des EU-Workshops „Impact of the Excavation Disturbed Zone (EDZ) on the performance of radioactive waste geological repositories“.
 - Festlegung aller notwendigen Arbeiten zur Entwicklung eines Instrumentariums und zur Durchführung einer Langzeitsicherheitsanalyse für ein Endlager in Tonformationen.
 - Übernahme der neuen Sicherheitsindikatoren aus dem Projekt SPIN zur Verwendung in zukünftigen Sicherheitsanalysen.

- Durchführung grundlegender Arbeiten zum Thema Auswirkungen von Gasen im Endlager. Festlegung von Prinzipmodellen für unterschiedliche Arten von Endlagern und unterschiedliche Formationen. Zusammenstellung von Daten für die Modellrechnungen.
 - Mitarbeit bei dem wissenschaftlichen Review des FEP-Katalogs für Endlager in Tonformationen „FEPCAT“ für den Clay Club. Bewertung der noch offenen Fragen aus Sicht der deutschen Endlagerforschung.
- TA 2: - EU-Projekt NANet: Teilnahme an den Arbeitstreffen in Edinburgh und Prag. Festlegung der weiteren Vorgehensweise und Verteilung der Aufgaben an die einzelnen Teilnehmer.

4. Ergebnisse

- TA 1: - Das Rechenprogramm EMOS wurde erweitert, um Sicherheitsindikatoren aus dem Projekt SPIN in zukünftigen Sicherheitsanalysen berechnen und darstellen zu können.
- Ein Konzeptpapier für eine Sicherheitsanalyse für Endlager mit radioaktiven Abfällen in Tonformationen wurde erstellt.

5. Geplante Weiterarbeiten

- TA 1: - Teilnahme an der IGSC-Sitzung in Paris.
- Weiterverfolgung des Projekts CROP und Auswertung der resultierenden Konsequenzen für die nationale Forschung in Untertagelabors werden. Dokumentation der Arbeiten.
 - Durchführung neuer Modellrechnungen zusammen mit FZK-INE zur Berücksichtigung des kolloidgetragenen Schadstofftransports in Langzeitsicherheitsanalysen.
 - Mitarbeit bei dem NEA-Review zur Sicherheitsstudie OPALINUS 2000 der NAGRA für die Schwerpunktthemen Endlagerkonzept, Gasfreisetzung und Transportmodellierung.
 - Grundlegende Arbeiten zum Thema Auswirkungen von Gasen im Endlager: Durchführung von Modellrechnungen für Prinzipmodelle repräsentativ für unterschiedliche Endlagertypen in unterschiedlichen Formationen.
 - Sichtung/Bewertung internationaler Arbeiten zur Berücksichtigung der Auswirkungen klimatischer Änderungen in Biosphären- und Geosphärenmodellen für Sicherheitsanalysen.
 - Zusammenstellung und Bewertung der aktuellen Arbeiten zum Thema Aufsättigung von Bentonit. Identifikation von offenen Fragen und Vorschlag zu weiterführenden Projekten.
 - Teilnahme an der nächsten Sitzung der Arbeitsgruppe zum Thema Szenarienanalysen. Abschließende Diskussion des Stausberichts.
- TA 2: - Sichtung und Zusammenstellung verfügbarer Daten zur Modellierung der Grundwasserbewegung über lange Zeiträume an nationalen und internationalen Standorten.
- Teilnahme an den nächsten Arbeitssitzungen zum EU-Projekt NANet. Durchführung von kritischen Reviews zu ausgewählten Studien zu Natürlichen Analoga.

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

keine

7. 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Die Testmessungen faseroptischer Sensoren im Endlager Morsleben und im Felslabor Grimsel wurden fortgeführt. Das Mess-System in der Schachanlage Konrad wurde gegen Ende des Berichtszeitraumes abgebaut und mit der Nachanalyse begonnen.

Mit SKB und ANDRA wurde eine Beteiligung am „Temperature Buffer Test“ (TBT) und am „Prototype Repository“ im Untertagelabor in Äspö vereinbart. Im Rahmen des TBT- Versuches wurden zwei Erhitzerbehälter mit einer Bentonit bzw. Bentonit-Sand Ummantelung in einem Bohrloch installiert. Seitens DBE TEC wurden Druck-, Porenwasserdruck- und Temperatursensoren im umgebenden Barrierematerial installiert. Die Sensoren wurden teilweise aus Titan gefertigt, um den stark korrosiven Umgebungsbedingungen gerecht zu werden und einen mehrjährigen Betrieb sicher zu stellen.

Mit der Erstellung eines Zwischenberichtes über die bisherigen Ergebnisse wurde begonnen.

4. Ergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens konnten erstmals Porenwasserdruck-Sensoren mit dünnen Titan-Membranen sowie Drucksensoren mit Titangehäuse hergestellt und kalibriert werden, von denen erwartet wird, dass sie auch in Temperaturbereichen von bis zu 180 °C (erwartete Versuchstemperatur im TBT-Versuch) längerfristig arbeiten können.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Grimsel: Fortführung der Messungen, Rückbau der Sensorik und Fehleranalyse
- Morsleben: Fortführung der Messungen und Analyse
- Erstellung eines Zwischenberichtes sowie eines endgültigen Abschlussberichtes nach dem Rückbau der Systeme im Felslabor Grimsel

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Jobmann, M., Biurrun, E. 2003: Research on Fiber Optic Sensing Systems and their Application as Final Repository Monitoring Tools, Proceedings of the WM'03 Conference, February 23-27, 2003, Tucson, USA.

Auftragnehmer: IfG, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9259	
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung des Spannungszustandes und des gebirgsmechanischen Verhaltens von Versatz und Wirtsgestein in Abhängigkeit von der Temperatur			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2000 bis 30.04.2003		Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.04.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 135.761,29 EUR		Projektleiter: Dr. Kamlot	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Abschluss der gekoppelten thermo-mechanischen Modellrechnungen und Präsentation der Ergebnisse zum 6. Projektkoordinierungsgespräch in Paris.
- Erstellung und Lieferung der IfG-Beiträge zum EU-Abschlussbericht, Kapitel „Backfill Performance“, „Rock-Salt Performance“ und „Modelling“.
- Erarbeitung eines Beitrages zur gemeinsamen Präsentation zum 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung, 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe

4. Ergebnisse

Zur Beschreibung der Versatzdruckversuche unter Temperaturen von 30° C und 70° C wurden Stoffgesetze erarbeitet, die eine Simulation in den verwendeten Rechenprogrammen gestatten. Dies gilt gleichfalls für die Festigkeitsversuche an Steinsalz, bei denen sich signifikant niedrigere Festigkeiten unter 70° C im Vergleich zur Labortemperatur zeigen.

Mit den gekoppelten thermo-mechanischen Modellrechnungen konnten die in situ gemessenen Temperaturen, Konvergenzen, Gebirgsspannungen und Versatzdrücke in guter Näherung abgebildet werden. Es war eine Wechselwirkung in den Gebirgsspannungen zwischen dem Erhitzerfeld und dem umgebenden kühleren Gebirge nachzuweisen.

5. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss des Vorhabens im April 2003.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Präsentation zum 6. Projektkoordinierungsgespräch BAMBUS II vom 11. - 13.02.2003 in Paris.

Beitrag zum Vortrag „Geotechnische Untersuchungen im Projekt BAMBUS II“, Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9269	
Vorhabensbezeichnung: Abschließende Auswertung des Projektes „Thermische Simulation der Streckenlagerung / Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar“			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2000 bis 30.04.2003		Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.04.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 307.307,38 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Rothfuchs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Erstellung des Abschlussberichtes.
- Erstellung des EU-Abschlussberichtes für das BAMBUS-II-Projekt.

4. Ergebnisse

- keine neuen Ergebnisse.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Fertigstellung des Abschlussberichtes.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

- J. Droste, T. Rothfuchs: Long-term instrument performance – experience from a large scale test in rock salt, 6th International Symposium on Field Measurements in GeoMechanics (FMGM), September 15 – 18, 2003, Oslo (in print)
- Rothfuchs, T., Brewitz, W., 2003: "Radioactive waste disposal in geological salt formations" - Current concepts, possible improvements, and status of underground field testing, 6th International Symposium on Field Measurements in GeoMechanics (FMGM), September 15 – 18, 2003, Oslo (in print)

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 528.929,14 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

AP 1: Nach der Unterbrechung der Installationen wegen der erforderlichen Erhitzerreparaturen wurden die Buffer-Elektroden im Bohrloch 5 im Februar 2003 und die restlichen Backfill-Elektroden in der Section II im Mai 2003 installiert. Damit sind nun alle Elektrodenarrays installiert und das Gesamtmessprogramm läuft seit Juni 2003.

AP 2: Erstellung eines zusammenfassenden Laborprüfberichtes über die geoelektrischen Kalibrierungen.

4. 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 Juni 2003 hat die Resistivität kontinuierlich auf etwa 6 Ωm am Streckenrand abgenommen, was einem aktuellen Wassergehalt von 16 – 17 % entspricht. Zur Streckenmitte hin liegen die Resistivitäten mit 7 – 10 Ωm etwas höher. Es wird aber erwartet, dass die zunehmende Wasseraufnahme auch im Zentrum der Strecke zu einer weiteren Abnahme der Resistivität führen wird.

Die Resistivitätsverteilungen entlang der Messketten im Gebirge zwischen Bohrloch 5 und 6 sind einander sehr ähnlich. Die Gebirgsresistivität liegt zwischen 2000 und 7000 Ωm , was auf Vollsättigung hinweist.

Die erste Messung im Buffer im oberen Bereich von Bohrloch 5 zeigt Resistivitäten unter 80 Ωm . Diese vergleichsweise hohe Resistivität wird durch das höher poröse Bohrklein in den Elektrodenbohrlöchern verursacht. Im Zentrum des Buffer liegt die Resistivität zwischen 4 und 7 Ωm , was dem Anfangswassergehalt von 17 % entspricht.

AP 2:

Der Prüfbericht wurde erstellt und in das EU-Deliverable D9 eingearbeitet.

5. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Weiterführung und regelmäßige Auswertung der In-situ-Messungen.

AP 2: Keine

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9289
Vorhabensbezeichnung: Versuchsfeldaufwältigung und Rückgewinnung von Materialproben und Messeinrichtungen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2000 bis 30.04.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.04.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 562.744,21 EUR	Projektleiter: Dipl.-Ing. Bollingerfehr	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Rahmen des Gemeinschaftsvorhabens arbeitet die DBE an folgenden Arbeitspaketen:

AP 5: Messinstrumente

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

AP 6: Modellierung

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

AP 7: Retrievability

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

AP 8: Dokumentation

- Dokumentation der Ergebnisse des seit 1985 bearbeiteten Projekts

AP 9: Versuchsfeldbetrieb

- Aufwältigung der Versuchsstrecke
- Probenahme an Versatzmaterial

3. Durchgeführte Arbeiten

- AP 5: Der Beitrag zum Abschlussbericht über die Ergebnisse der Nachuntersuchungen an Messinstrumenten sowie über Empfehlungen zu deren Verbesserung hinsichtlich eines Einsatz als Überwachungsmesseinrichtung in einem Endlager wurde erstellt.
- AP 6: Der Beitrag zum Abschlussbericht über die gewonnenen Erkenntnisse bei der numerischen Simulation des Versuchsablaufs wurde erstellt.
- AP 7: Der Beitrag zum Abschlussbericht zur Untersuchung der Rückholbarkeit eingelagerter Pollux-Behälter wurde erstellt.
- AP 8: Die Datenbank zur Erfassung und Dokumentation der wesentlichen Projektunterlagen aus dem Zeitraum 1985 bis 2003 wurde fertig gestellt und dazu ein Beitrag zum Abschlussbericht erstellt.
- AP 9: Der Beitrag zum Abschlussbericht über die gewonnenen Erkenntnisse bei der Versuchsfeldaufwältigung wurde erstellt.

4. Ergebnisse

Die in den vorangegangenen Berichten beschriebenen Ergebnisse wurden in den einzelnen Kapiteln des Abschlussberichtes zusammengefasst.

5. Geplante Weiterarbeiten

keine

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Vortrag zum Thema Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

Zuwendungsempfänger: FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 9299
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen über die Komplexierung und die Migration von Aktiniden und nichtradioaktiven Stoffen mit Huminsäuren unter geogenen Bedingungen – Komplexierung von Huminsäuren mit Aktiniden in der Oxidationsstufe IV Th, U, Np		
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 30.06.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 430.723,98 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Bernhard	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Übergabe von 100 mg ^{14}C -markierter synthetischer Huminsäure (HS) Typ M42 (Charge M180/02) an IIF Leipzig
- Untersuchung der Redoxstabilität von U(VI)-Komplexen mit natürlichen und synthetischen HS unterschiedlicher Funktionalität in Abhängigkeit vom pH-Wert; direkt und indirekt spektroskopische Verlaufskontrolle der Reduktion, d.h. U(IV)-Nachweis mittels laserinduzierter photoakustischer Spektroskopie (LIPAS) sowie spektralphotometrisch in Form des U(IV)-Arsenazo(III)-Komplexes
- Säulenexperimente zur Untersuchung der HS- und Uran-Migration im Laborsystem Quarzsand/HS/H₂O; Einsatz der ^{14}C -markierten synthetischen HS vom Typ M42 zur Bilanzierung des HS-Transports
- Sichtung und Bewertung von Daten zur Metall-Humat-Komplexierung basierend auf dem Ladungsneutralisationsmodell; Eingabe der Daten in die digitale HS-Komplexierungs-Datenbank; Überarbeitung der Datenbankstruktur zur Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit

4. Ergebnisse

Direkt und indirekt spektroskopische Ergebnisse deuten darauf hin, dass die synthetischen HS mit ausgeprägter Redoxfunktionalität auch gegenüber U(VI) größere Redoxkapazitäten zeigen als Aldrich HS (AHS). Im Gegensatz zu AHS konnte mittels LIPAS nach 7-wöchiger Reaktionszeit von U(VI) mit synthetischer HS Typ R4 (Oxidationsprodukt aus Brenzcatechin und Glycin) bei pH 6, 8 und 9 Uran(IV) direkt detektiert werden.

HS-Durchbruchkurven weisen darauf hin, dass HS Typ M42 im untersuchten Laborsystem gegenüber Wasser (HTO) leicht verzögert transportiert wird (Faktor: 1,03). HS-Wiederfindungen von nur 92-95 % sind Ergebnis irreversibler Prozesse, z.B. von HS-Wechselwirkungen mit dem Sand bzw. von Filtrationseffekten.

Die Datenbank zur HS-Komplexierung beinhaltet derzeit 73 Datensätze (LC, log β). Diese beziehen sich auf die Komplexbildung 12 verschiedener Humin- bzw. Fulvinsäuren mit 8 Metallionen (variierten experimentelle Bedingungen und Speziationmethoden).

5. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss der Säulenexperimente zur U-Migration in Gegenwart von HS

Erarbeitung des Abschlussberichts

Vortrag: Migration'03, Gyeongju, Südkorea, 21-26.09.2003

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

- Schmeide, K. et al.: Interaction of Uranium(VI) with Various Modified and Unmodified Natural and Synthetic Humic Substances Studied by EXAFS and FTIR Spectroscopy. *Inorg. Chim. Acta* **351**, 133-140 (2003).
- Report FZKA 6800, FZ Karlsruhe 2003: Sachs, S. et al., Synthetic Humic Acid Model Substances with Specific Functional Properties for the Use in Complexation and Sorption Experiments with Actinides, p. 51; Schmeide, K. et al.: Determination of Structural Parameters for Th(IV), Np(IV), Np(V) and Pu(III) Humate Complexes by Means of XAFS Spectroscopy, p. 65.
- Sachs, S. et al.: Teilprojekt des Instituts für Radiochemie. Bericht des Huminstoff-Verbands, Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

Zuwendungsempfänger: Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55099 Mainz		Förderkennzeichen: 02 E 9309
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nichtradioaktiven Stoffen		
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 30.06.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 454.523,93 EUR	Projektleiter: Dr. Trautmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

(Universität Mainz und Universität Saarbrücken als Auftragnehmer)

Zusammenarbeit mit dem Institut für Radiochemie des Forschungszentrums Rossendorf und dem Institut für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe und dem Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. Leipzig.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten

Die Kinetik der Komplexbildung von Pu(IV) mit Huminsäure wurde über einen Zeitraum von bis zu vier Wochen untersucht. Weiterhin wurde die Komplexbildung von Pu(IV) mit Huminsäure in Abhängigkeit der Huminsäure- und der Metallionenkonzentration sowie des pH-Wertes studiert. Mit der Entwicklung und dem Bau einer automatisierten Kapillarelektrophorese zur Kopplung an die ICP-MS wurde begonnen (Uni Mainz).

Die restlichen Batchversuche im System Seesand-Metall-Huminsäure wurden durchgeführt, wobei kinetische Aspekte im Vordergrund standen. So wurde zum Beispiel die Zeit variiert, in der der Seesand mit der Schwermetall-Huminsäurelösung wechselwirkt. Der Einfluss der Konditionierung des

Schwermetalls mit Huminsäure vor dem Seesandkontakt konnte ebenfalls untersucht werden. Eine Messreihe wurde zur Untersuchung der Reversibilität von Adsorption/Desorption durchgeführt. Außerdem wurden die geplanten Säulenversuche durchgeführt. Hierzu wurde die Säule ($l = 25 \text{ cm}$ $\Phi = 1 \text{ cm}$) online mit der ICP-MS gekoppelt. Vor den Experimenten wurde die Säule mit mehr als 1000 Porenvolumina ($V_p = 6,5 \text{ ml}$; bestimmt durch Bromid als inertem Tracer) konditioniert. Es erfolgten zwei Säulenversuche ohne Huminsäure und zwei Versuche mit Huminsäure in den pH-Bereichen 6 und 7 (Uni Saarbrücken).

4. Ergebnisse

Die Kinetik der Komplexbildung zeigt, dass die Komplexierung von Pu(IV) mit Huminsäure langsam verläuft. Eine annähernd vollständige Einstellung des Komplexgleichgewichtes erfordert einen Zeitraum von bis zu einer Woche. Für die Komplexierung von Pu(IV) mit Huminsäure wurde ein $\log\beta_{LC}$ Wert von 5-6 je nach Metallionen- und Huminsäurekonzentration bestimmt. Die Kapillarelektrophorese ist zwischenzeitlich weitgehend automatisiert und kann an das in Mainz zur Verfügung stehende ICP-MS Gerät gekoppelt werden (Uni Mainz).

Bei den Batchversuchen stehen jetzt 1200 Messpunkte zur Verfügung. Bei den Säulenversuchen konnten nur die Durchbruchkurven für Cadmium beobachtet werden. Die Versuche ohne Huminsäure zeigten eine signifikante Zunahme der Retardation von Cadmium bei einer Erhöhung von pH 6,2 ($V/V_p \approx 8$) auf pH 7,2 ($V/V_p \approx 28$); bei Anwesenheit von 25 ppm Huminsäure steigt die Retardation an ($V/V_p \approx 60$). Die Änderung des pH Wertes von 6,4 auf 7,4 hat bei Anwesenheit der Huminsäure kaum einen Einfluss auf die Retardation. Die Menge des als inert transportierten Metalls nimmt bei steigendem pH-Wert zu, während die Menge des freien Metalls erwartungsgemäß abnimmt. Von den anderen Metallen konnten nur die inert transportierten Anteile der Metalle ($V/V_p \approx 1$) gefunden werden. Ansonsten ist die natürliche Kontamination für Zink zu hoch, um Säulenversuche durchführen zu können. Kupfer und Blei sind bei den gegebenen pH-Werten so stark gebunden, dass die Nachweisgrenzen der ICP-MS nicht ausreichen, um Durchbruchkurven aufzunehmen. Eine Erhöhung der eingesetzten Metallkonzentration ist nicht möglich, da es dann zum Ausfällen der Huminsäure oder bei Abwesenheit von Huminsäure zum Ausfällen von Metallhydroxid kommt (Uni Saarbrücken).

5. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten zu den Humat-Komplexbildungskonstanten für verschiedene Oxidationsstufen des Plutoniums sollen in nächster Zeit abgeschlossen werden. Weiterhin muss noch der Abschlussbericht zu den o. g. Vorhaben erstellt werden (Uni Mainz).

Die experimentellen Arbeiten, die im Rahmen des Projektes durchgeführt werden sollten, sind abgeschlossen. Einige Versuche müssen noch vollständig ausgewertet werden. Außerdem muss der Beitrag zum Abschlussbericht angefertigt werden (Uni Saarbrücken).

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

keine

7. 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 - ICP-MS and Application to Natural Groundwater Samples, Anal., Chem., eingereicht

Zuwendungsempfänger: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9329
Vorhabensbezeichnung: Komplexierung und Migration von Al, Ga, In, Sc, Y, La und Schwermetallen mit Huminsäure		
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 30.06.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 275.645,94 EUR	Projektleiter: Dr. Kupsch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Zusammenarbeit mit folgenden Einrichtungen:

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Radiotraceranalytische Vermessung der pH-abhängigen Adsorption von [^{160}Tb] Tb^{3+} an Phyllit, Diabas, Granit und Sand in An- und Abwesenheit von Huminsäure
- Untersuchung der pH-abhängigen Adsorption von Huminsäure an Phyllit, Diabas, Granit und Sand via Markierung mit ^{131}I
- Feststellung der pH-abhängigen Mineralauflösung für Phyllit, Diabas, Granit und Sand
- Aufnahme von Adsorptionsisothermen verschiedener Huminstoffe an Sand via Markierung mit ^{131}I
- Abschluss der vergleichenden Untersuchungen zur Humatkomplexbildung von Metallen der dritten Haupt- und Nebengruppe
- Elementanalytische Charakterisierung der verwendeten Huminstoffe (C, H, N, O, S, Restgehalt an Metallen)

4. Ergebnisse

Die Auswirkung von Huminstoffpräsenz auf die Adsorption dreiwertiger Actiniden an geogenen Festphasen wurde mit Hilfe von ^{160}Tb als Analogtracer pH-abhängig vermessen. Der Einsatz von radio-markierten Huminstoffen ermöglichte dabei eine spezielle Betrachtung von Systemen mit geringer DOC-Konzentration (DOC = Dissolved Organic Carbon). Vergleichende Untersuchungen erfolgten an vier repräsentativen Geomatrices mit unterschiedlichen Säure-Base-Eigenschaften (Phyllit, Diabas, Granit, Sand). In allen Fällen bewirkt die Gegenwart von Huminsäure bei hohen pH-Werten eine Mobilisierung, bei niedrigen pH-Werten dagegen eine Demobilisierung des Metalls bezogen auf die Fest-Flüssig-Verteilung im DOC-freien System. Die Umkehrung des Einflusses erfolgt an Diabas, Granit und Sand bereits in schwach saurem Milieu (pH \sim 5) und ist somit relevant im Hinblick den kolloidgetragenen Stofftransport. Das Verhalten konnte anhand der gleichfalls ermittelten pH-Abhängigkeiten von Tb-Humat-Komplexbildung und Huminsäureadsorption qualitativ begründet werden. Mit Hilfe der ^{131}I -Markierung wurden Adsorptionsisothermen verschiedenartiger Huminstoffe an Sand aufgenommen. Generell wird Langmuir-Verhalten festgestellt. Das Ausmaß der Kolloid-Matrix-Wechselwirkung ist substanzspezifisch und wird im wesentlichen durch die Ladungsdichte bestimmt; die Fähigkeit zur Demobilisierung von Metallionen besteht jedoch allgemein.

5. Geplante Weiterarbeiten

keine (Abschluss des Projektes zum 30.06.2003)

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

H. Lippold, H. Kupsch, Statusbericht zum Teilprojekt 02 E 9329, in: Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

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 31.07.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

- Für die Abweichungen der bisherigen Messergebnisse bei 80 °C und 100 °C vom Pitzer-Peiper-Busey-Modell wurden mögliche Ursachen gefunden und abgestellt
- Durchführung weiterer Versuche zur Bestimmung der NaCl-Löslichkeit bei 80 °C und Drücken bis 200 bar
- Verbesserung der Apparatur zur Untersuchung der Einflüsse von Druck u. Temperatur auf Umlöseprozesse an durchströmten Kapillaren im NaCl-Einkristall u. Weiterführung der Versuche

4. Ergebnisse

- Messergebnisse zur NaCl-Löslichkeit bei 80 °C und Drücken bis 200 bar und bei 100 °C und 100 bar liegen vor
- Im bisher untersuchten Druck- und Temperaturbereich steigt die NaCl-Löslichkeit mit Druck und Temperatur
- Bei der Untersuchung des Einflusses des Druckes auf Umlöseprozesse an durchströmten Kapillaren im NaCl-Einkristall traten Undichtigkeiten auf, so dass weitere Versuche notwendig sind.

5. Geplante Weiterarbeiten

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

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

H. Fröhlich, C. Elliger, Prof. Dr. W. Voigt, T. Suworow: „Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen“, Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

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 In- strumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2000 bis 31.07.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

- Weiterführung der Permeabilitätsmessungen an A9-Salzkernen mit Lauge (Salzlauge und Q-Lauge) bei Temperaturen von 90 °C und 130 °C
- Inbetriebnahme und erste Messungen mit der neuen Fördereinheit für Lauge bei 150 °C (HC-22 Membranbalgeinheit statt Kautschukblasen) inkl. Mess- und Regeltechnik (Druckregelung) zur Erhöhung der Standzeit bei der Grenztemperatur
- Wartungsarbeiten Hubkolbenpumpe (kompletter Austausch aller Dichtungen)
- Detailauswertung der Permeabilitätsmessungen
- Visualisierung der Porenstruktur von Salzproben
- Hg-Porosimetrie und mikroskopische Untersuchungen an Salzkernproben vor und nach dem Durchströmen mit Lauge und Vergleich der Porenstruktur
- Auswertung der Porenstrukturanalysen

4. Ergebnisse

- Mit der neuen Fördereinheit traten bisher keine Standzeitprobleme infolge Materialversagen auf, das Druckregelungssystem arbeitet störungsfrei
- Durch Umlöse- und Rekristallisationsprozesse findet bei hohen Temperaturen eine Umstrukturierung im Porengefüge statt, die zu einer deutlichen Verschiebung der Permeabilitäts / Porositätsbeziehung führt
- Die Sättigung der durchströmenden Salzlauge ist von der Partikelgröße des Steinsalzgrus abhängig, wodurch es zu Auflösungserscheinungen im Bereich der Feinkornanteile kommt, was zu den bei zwei Proben beobachteten Laugendurchbrüchen führen kann

5. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der letzten Versuche zur Permeabilitätsmessung mit Lauge bei Temperaturen von 90 °C und 130 °C
- Fortführung der Detailauswertung und abschließende Auswertung und Bewertung der Ergebnisse
- Fertigstellung des Abschlussberichtes

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

H. Fröhlich, C. Elliger, W. Voigt, T. Suworow: „Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen“, Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

Zuwendungsempfänger: TU München, Arcisstraße 21, 80333 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

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

- (1) Die Actinid-Eigenkolloidbildung als Möglichkeit, Actinide in der mobilen kolloidalen Phase zu überführen, wurde weiter erkundet. Insbesondere wurden Actinid(Am/Th)-Analoge von Aluminosilicat-Kolloiden untersucht. Dazu wurden folgende Einflussparameter variiert: Actinid-Konzentration, - Konzentrationsverhältnis, pH, Konditionierungszeit und Konzentration von zweiwertigen Kationen (Mg) die das Grundwasser stets begleiten. Eingesetzt wurden radiometrische Methoden in Kombination mit Ultrafiltration, die TRIFS (Time Resolved Laser Fluorescence Spectroscopy) sowie die empfindliche Kolloidnachweismethode der LIBD (Laser Induced Breakdown Detection).
- (2) Die Actinid-Fremdkolloidbildung wurde anhand von Aluminosilicat-Kolloiden, als repräsentatives Beispiel von Grundwasserkolloiden, ebenfalls weiter untersucht.
 Die Kapazität von Aluminosilicat-Kolloiden zur Inkorporation von Am und Th wurde bestimmt.
 Es wurde untersucht, ob der nachgewiesene Am- bzw. Th-Einbau in Aluminosilicat-Kolloiden auch dann noch stattfindet, falls Am und Th gleichzeitig vorliegen und Konkurrenzreaktionen zwischen Actinid-Eigenkolloidbildung durch Th-Am-Bindung und Actinid-Fremdkolloidbildung durch Th- bzw. Am-Aluminosilicat-Kolloidbildung zu erwarten sind. Sowohl radiometrische als auch spektroskopische (TRIFS) Methoden wurden dazu herangezogen.
 Versuche zur Bestimmung des Einflusses von zweiwertigen Kationen (Mg, Ca-45) auf die Bildung von Aluminosilicat-Kolloiden bzw. auf deren Wechselwirkung mit Am wurden begonnen.
 Der Einfluss des Alters von Aluminosilicat-Kolloiden (in statu nascendi bis zu 24 Tagen) auf ihre Affinität für drei- und vierwertigen Actiniden in Tracermengen wurde untersucht mit dem Zweck, herauszufinden, inwieweit der Kolloidbildungsweg (heterogene Nukleation oder Dispersion) bei der Erzeugung von Actinid-Fremdkolloiden eine Rolle spielt.
 Die Stabilität von Am- bzw. Th- bzw. (Th-Am)-Aluminosilicat-Kolloiden in einer nicht-aktiven Umgebung wurde anhand von Desorptionsversuchen ermittelt.

4. Ergebnisse

(1) Actinidanalogen von Aluminosilicat-Kolloiden konnten synthetisiert werden. Bedingungen ihrer Stabilisierung über längeren Zeiträumen (≥ 6 Monate) wurden identifiziert.

(2) Folgende Ergebnisse bezüglich der Actinid-Fremdkolloidbildung wurden erzielt:

- Die maximale Kapazität von Aluminosilicat-Kolloiden, Am bzw. Th zu inkorporieren, richtet sich nach der Al-Konzentration in den Kolloiden. Die wiederum, ist durch die Al- und Si-Konzentration in der Mutterlösung vorgegeben.
- Der gleichzeitige Einbau von Tracermengen Am und Th in Aluminosilicat-Kolloiden wird, im Vergleich mit deren separaten Einbau, durch die Am-Th-Bindung nur geringfügig beeinträchtigt. Unterschiedliche Am(Cm)-Kolloidbindungen, der An- bzw. Abwesenheit von Th entsprechend, sind jedoch spektroskopisch (TRLFS) zu erkennen.
- Gealterte Aluminosilicat-Kolloide verlieren ihre Fähigkeit, Am zu binden. Dagegen beeinflusst das Kolloidalter die Menge des eingebauten Th-Tracers keineswegs. Diese Beobachtung führt zu der Hypothese, dass die Affinität von anionischen Liganden für dreiwertige Kationen (Al, Am) in der Reihenfolge: Th > Si-Oligos > Si-Monos > OH abnimmt. Es bedeutet, dass Koordinationswasser von Al durch Si-Anionen, und die wiederum durch Th-Anionen ersetzt werden können. Umgekehrt wird Al, mit seiner größeren effektiven Ladung, gegenüber Am von den jeweiligen anionischen Liganden bevorzugt.
- Versuche, Am bzw. Th aus den Fremdkolloiden zu desorbieren, zeigen, dass die genannten Actinide irreversibel in stabilen Aluminosilicat-Kolloiden gebunden sind.

5. Geplante Weiterarbeiten

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

AP(I) und AP(II):

- Fortsetzung der Untersuchungen über die Möglichkeit der Inkorporation von vierwertigen Actiniden bzw. Eigenkolloiden (Th (IV) und Pu(IV)) in Aluminosilicat-Kolloiden
- Fortsetzung der Untersuchung des Einflusses von begleitenden Grundwasserbestandteilen wie Ca²⁺, Fe^{2+/3+}, Huminsäure, etc. auf die Bildung und Stabilität von Aluminosilicat-Kolloiden bzw. auf deren Wechselwirkung mit dreiwertigen und vierwertigen Actiniden.

AP(III):

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

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

„Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi

- Part I: Generation and Characterization of Americium-Pseudocolloids“ Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 216 (2003) 97-108
- Part II: Spectroscopic Speciation of Aluminosilicate colloid-borne Cm(III) Colloids and surfaces A: Physicochem. and Eng. Aspects (in Druck)
- Part III: The Colloid Formation by Mono-Silanol and Oligo-Silanol“ (Veröffentlichung in Vorbereitung)

„Incorporation of Tetravalent Actinides with Aluminosilicate Colloids: Generation of Thorium Pseudocolloids“ (Veröffentlichung in Vorbereitung)

„Aquatic Colloids of Actinides: How are they generated under Natural Aquifer Conditions?, Vortrag bei der „Plutonium Futures- the Science Conference“, Albuquerque, New Mexico, USA (2003)

„Actinide Analogs of Aluminosilicate Colloids“ (Veröffentlichung in Vorbereitung)

„Interaction of Actinides with Aquatic Colloids and Generation of Actinide Pseudocolloids“, Annual Rep. BMWA (2003); IAEA Waste Management Research Abstracts (WMRA), Vol. 28 (Beitrag in Vorbereitung)

„Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden“, Vortrag in: Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

Zuwendungsempfänger: Universität Stuttgart, Keplerstraße 7, 70049 Stuttgart		Förderkennzeichen: 02 E 9370
Vorhabensbezeichnung: Weiterentwicklung von Simulationstechniken für Gas-Wasser-Prozesse in geklüftet-porösen Medien auf der Feldskala		
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 31.05.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 31.05.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 406.824,72 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Helmig	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

1. Bei der Erzeugung der Kluftöffnungsweiten wurde ein neuer Ansatz entwickelt, der die maximalen Kluftöffnungsweiten begrenzt. Die so erzeugten Kluftöffnungsweiten stimmen besser mit den von der KTH Stockholm / SKB ermittelten Messdaten überein.
2. Das Perkolationsmodell wurde auf verschiedene stochastisch generierte Datenfelder angewandt, deren Eingangsdaten den Messungen der KTH Stockholm / SKB entnommen wurden. Aus diesen Datenfeldern wurde das jeweilige REV ermittelt. Über eine Variation der Drücke und Temperaturen wurden konstitutive Beziehungen abgeleitet.
3. Die abgeleiteten konstitutiven Beziehungen wurden verwendet, um das von J. Jarsjö und G. Destouni durchgeführte Feld-Entgasungsexperiment zu simulieren. Es ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen den experimentellen und simulierten Ergebnissen.

4. Ergebnisse

Literaturrecherchen zeigen, dass bei der Ausbreitung der Gasphase in Kluftsystemen die Heterogenitäten innerhalb der Klüfte in Betracht gezogen werden müssen. Dabei spielen die besonderen Eigenschaften von Klüften in Granit eine wichtige Rolle: Im hier betrachteten Rahmen bewirken die starken Variationen der Kluftöffnungsweiten, dass die Gasphase erst bei einer sehr starken Ausgasung mobil wird. Die bislang durchgeführten Arbeiten bestätigen mittels numerischer Simulationen diese bereits experimentell festgestellten Eigenschaften. Es zeigt sich, dass durch die Entgasungseffekte die effektive Permeabilität der Klüfte für Wasser nur durch den Druckabfall um bis zu 50 Prozent abnehmen kann. Diese Ergebnisse decken sich mit den experimentell von KTH Stockholm / SKB ermittelten Daten. Der Vergleich zwischen experimentellen und numerischen Ergebnissen zeigt eine gute Übereinstimmung. Es ist somit ein Werkzeug entwickelt worden, das bei gegebener Kluftöffnungsweitenverteilung den Einfluss von Entgasungseffekten bei Druckabfall oder Temperaturerhöhungen in Klüften auf die effektive Permeabilität quantifiziert. Die Ergebnisse sind in einem Bericht in deutscher Sprache dokumentiert worden.

5. Geplante Weiterarbeiten

Die Dokumentation der Ergebnisse soll in englischer Sprache erfolgen.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Es wurden insgesamt fünf Berichte und Veröffentlichungen während dieses Projektes geschrieben. Diese finden sich unter: <http://www.iws.uni-stuttgart.de/Hydrosys/Publikation/>

Zuwendungsempfänger: IIF e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9380
Vorhabensbezeichnung: Migrations- und Sorptionsuntersuchungen geogener Lösungen in Wirtsgesteinsformationen (Tone, Tongestein, Salzgestein) mittels tomographischer Radiotracerverfahren (PET)		
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 30.06.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 420.198,59 EUR	Projektleiter: PD Dr. Richter	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Optimierung der quantitativen Bildauswerteverfahren für tomographische Stacks unter dem Aspekt der Modellierung geochemischer Transportprozesse
- Abschluss der PET- Messungen zur Migration von wässrigen Lösungen in Tonen (Bentonit, Kaolinit) bei unterschiedlichen Salzkonzentrationen und pH-Werten.
- PET-Untersuchungen zur Migration wässriger Lösungen in Tonstein
- PET-Untersuchungen zum lokalen Transport von wässrigen Lösungen in Salzgestein

4. Ergebnisse

- Optimiertes Verfahren zur quantitativen Bildauswertung und Bestimmung lokaler Parameter von geochemischen Transportmodellen
- Bestimmung von Dispersions- bzw. Advektionsparametern in Bentonit und Kaolinit in Abhängigkeit von Tonstruktur und Lösungszusammensetzung
- Nachweis der heterogenen Transportwege und Geschwindigkeiten von wässrigen Lösungen in Tonstein
- Bestimmung des lokalen Transportverhaltens wässriger Lösungen in Salzgestein

5. Geplante Weiterarbeiten

Abfassung des Abschlussberichtes

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

- AP 1: Fortführung der Messungen zur Gasfreisetzung am Erhitzer 1
- AP 2: Begutachtung der Filterrohre am Erhitzer 1 und Installation weiterer Filterrohre am Erhitzer 2.
- AP 3: Gasprobenahme aus den Filterrohren am Erhitzer 2 und Analyse
- AP 4: Permeabilitätsmessungen
- AP 5: Laboruntersuchungen zur Gasentwicklung aus dem Bentonit

3. Durchgeführte Arbeiten

Die Bohrarbeiten sowie die Installation der Filterrohre für die Messungen zur Gasfreisetzung und der Permeabilität wurden abgeschlossen. Für die Kapillarleitungen, die von den Filterrohren zur Ventilstation in der offenen Strecke führen, sind in Zusammenarbeit mit AITEMIN für das Abschlussbauwerk spezielle Durchführungen entwickelt worden, um das Versuchsfeld möglichst wasser- und gasdicht abzuschließen. Die Ventilstation für die Gasprobenahmen und die rechnergestützten Permeabilitätsmessungen ist gebaut und getestet worden.

Die Labormessungen zur Ermittlung der thermischen Gasfreisetzung aus dem Bentonit laufen wie geplant weiter.

4. Ergebnisse

Im Bentonitversatz um den Erhitzer 2, der über 7 Jahre aus dem umliegenden Gebirge Feuchtigkeit aufgenommen hat, konnten die 9 m tiefen Bohrungen standfest erstellt werden, so dass die Installationen problemlos durchgeführt werden konnten.

Aus den Laboruntersuchungen zur thermischen Gasfreisetzung aus dem Bentonit liegen keine neuen Ergebnisse vor.

5. Geplante Weiterarbeiten

Sobald das Abschlussbauwerk von AITEMIN erstellt worden ist, sollen die Kapillaren von den Filterrohren an die Ventilstation angeschlossen werden und die ersten Messungen zur Gasfreisetzung und zur Permeabilität können durchgeführt werden.

Die Laboruntersuchungen zur Gasfreisetzung aus dem Bentonit Versatzmaterial werden programmgemäß fortgeführt.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

CORALUS test tube 2 (30 °C, ohne ⁶⁰Co-Quelle) und CORALUS test tube 3 (90 °C, mit ⁶⁰Co-Quelle) sind Wasserproben aus dem Versatz zu Messungen der darin gelösten Gase entnommen worden.

CORALUS test tube 4 (90 °C, mit ⁶⁰Co-Quelle) ist die Flutung abgeschlossen, die ⁶⁰Co-Quellen wurden eingebaut und die Erhitzer eingeschaltet. Erste Wasserproben sollen im Juli 2003 entnommen werden.

Im Labor sind die verschiedenen Versatzproben für die Expositionszeiten von 1 000 Tagen noch im Wärmeschrank mit einer Temperatur von 90 °C eingelagert, die Analyse dieser Proben ist für November 2003 vorgesehen.

4. Ergebnisse

In den Formationswässern, die aus dem Versatz des Test Tubes 2 und 3 entnommen worden sind, ergab sich, dass darin hauptsächlich Kohlendioxid und geringe Mengen Methan und Ethan gelöst ist. Der Gehalt steigt weiterhin langsam an.

5. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der In-situ-Untersuchungen zur Gasentwicklung.

Analyse der Gasentwicklung für die Expositionszeit von 1000 Tagen und Gesamtdarstellung der Ergebnisse.

Am Ende der Heizphase von Test Tube 2 sind Permeabilitätsmessungen im Versatz vorgesehen.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38670 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 9410
Vorhabensbezeichnung: Transport und Rückhaltung von Schadstoffen in alterierten Kluftbereichen 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 31.01.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 31.01.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 202.025,74 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Mengel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1: Räumliche Verbreitung und Volumina von Kluftbereichen

AP 2: Mineralogie der Gesteinsoberflächen in Kluftbereichen

AP 3: Schadstoffrückhaltung in Kluftbereichen

AP 4: Modellierung der Rückhaltung im Referenzvolumen

AP 5: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten

Im Januar 2003 wurde eine erste Fassung des Abschlussberichtes erstellt, die im Februar 2003 revidiert wurde und nun beim Projektträger vorliegt.

4. Ergebnisse

Sorptionsexperimente an natürlichen und synthetischen Mineralen (Kluftoberflächen) mit angereicherten Lösungen (nicht-radioaktives Co, Sr, Cs, Ba, REE sowie natürliches U) wurden unter Laborbedingungen bei unterschiedlichen pH-Werten durchgeführt und interpretiert. Die Rückhaltefähigkeit von klüftigem Äspö-Diorit und Småland-Granit gegenüber den o.g. Schadstoffen wurde in Langzeitexperimenten ermittelt und mit den Ergebnissen der Sorptionsexperimente an Kluftmineralen verglichen. Die Ergebnisse für die REE können auf einige Transurane (Am, Pu und Np) übertragen werden. Weitere Ausführungen, Ergebnisse und Modellrechnungen sind dem Abschlussbericht zu entnehmen.

5. Geplante Weiterarbeiten

Der Abschlussbericht wird gegenwärtig abschließend revidiert

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

keine

7. 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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.

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

- Teilnahme an der Projektbesprechung am 27. Februar 2003 in Paris
- Erstellung des Abschlussberichtes

4. Ergebnisse

- Wegen der Verzögerungen beim Schachtabteufen in Bure wird von den Projektpartnern gemeinschaftlich beschlossen, das EU-Projekt ab 1. April 2003 für ca. 2 Jahre zu unterbrechen. Die GRS-Laboruntersuchungen sind hiervon nicht betroffen, da diese bereits planmäßig Ende 2002 erfolgreich beendet wurden.
- Der Abschlussbericht ist gedruckt und verteilt.

5. Geplante Weiterarbeiten

keine

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Zhang, C.-L., Dittrich, D., Müller, J., Rothfuchs, T., 2002: Experimental Study of the Hydro-mechanical Behaviour of the Callovo-Oxfordian Argillites, GRS-187, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

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

4. Ergebnissen

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

5. Geplante Weiterarbeiten

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

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

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 30.06.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Durchführung bzw. Auswertung von Löslichkeitsversuchen in folgenden selenhaltigen Systemen:

MgCl₂-MgSeO₄-H₂O, MgSO₄-MgSeO₄-H₂O, K₂SO₄-K₂SeO₄-H₂O, MgSeO₄-Na₂SeO₄-H₂O, Na₂SeO₄-K₂SeO₄-H₂O, KCl-K₂SeO₄-H₂O, NaCl-Na₂SeO₄-H₂O, Na₂SO₄-Na₂SeO₄-H₂O,

Folgendes iodidhaltiges System wurde untersucht: K₂SO₄-KI-H₂O

Hinzu kamen Planung, Ausführung und Auswertung isopiesterischer Versuche in den Systemen:

MgSeO₄-H₂O, Na₂SeO₄-H₂O, K₂SeO₄-H₂O, KCl-K₂SeO₄-H₂O.

MgSO₄-MgI₂-H₂O, NaI-MgI₂-H₂O, MgI₂-KI-H₂O, MgCl₂-MgI₂-H₂O

4. Ergebnisse

Die Versuche mit Selenat und Iodid dürfen als weitgehend abgeschlossen gelten. Auf ihrer Grundlage werden Ionenwechselwirkungskoeffizienten berechnet, die im letzten Schritt mit vorliegenden Literaturdaten zu einer konsistenten thermodynamischen Datenbasis für Iodid und Selenat zusammengefasst werden.

Die Sorptionsmessungen ergaben aussichtsreiche Kandidatenmaterialien für die Rückhaltung von Iod und Selen unter endlagerrelevanten Bedingungen. Weitere Bemühungen sind notwendig, um den genauen Rückhalte Mechanismus von Se und I an den von uns gefundenen Materialien aufzuklären. Erst dann ist eine abschließende Aussage zur Eignung als Rückhalteagentien im Nahfeld eines Endlagers möglich.

5. Geplante Weiterarbeiten

Vorhaben am 30.06.2003 ausgelaufen.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

H. C. Moog, B. Riebe, S. Hagemann, H.-J. Herbert (2003): Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers. Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

Zuwendungsempfänger: TU München, Arcisstr. 21, 80333 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 31.10.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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 PARAGAUS.
- 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 PARAGAUS

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 PARAGAUS durchgeführt.

3. Durchgeführte Arbeiten

AP 1.1: Uranylcarbonate.

AP 1.2: OH- und O-verbrückte Uranyl-Dimere, Uranylcarbonat-Dimere.

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

AP 2.1: Adsorption von UO_2^{2+} , $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ auf $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$.

AP 3.2: SNSO-Methode.

AP 3.5: Adsorption von H_2O auf $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$, Parametrisierungen.

4. Ergebnisse

In AP1 wurden Berechnungen zu Uranylcarbonatkomplexen am Beispiel $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ wie geplant weitergeführt (AP 1.1). Abweichungen der Berechnung in der Gasphase zu experimentellen Daten konnten durch Simulation von Wasserstoffbrücken zu den Carbonatliganden mittels sechs koordinierter Aqualiganden deutlich reduziert werden. Diese Ergebnisse zeigen erneut, dass die

explizite Behandlung der ersten Hydratationssphäre in den Berechnungen wichtig ist. In Ergänzung von Gasphasen-Berechnungen zu verschiedenen Isomeren des Uranylcarbonat-Dimerkomplexes $(\text{UO}_2)_2\text{CO}_3(\text{OH})_3^-$ wurden Berechnungen unter Berücksichtigung von Solvata-tionseffekten fertig gestellt (AP 1.2). Die Reihenfolge der relativen Stabilitäten unterscheidet sich in Gasphase und wässriger Lösung; die Isomere weisen allerdings jeweils nur sehr geringe Ener-gieunterschiede auf. Deshalb ist weiterhin die Untersuchung verschiedener Orientierungen der Hydroxo-Gruppen und eventuell auftretender Wasserstoffbrückenbindungen erforderlich. Berech-nungen zum solvatisierten Trimer $(\text{UO}_2)_3(\text{CO}_3)_6^{6-}$ (AP 1.4) erwiesen sich aufgrund der hohen Ionenladung als schwierig. Durch Einsatz von Pseudopotentialen sowie H_3O^+ als Alternative zu Aquoliganden sollen hier Fortschritte erzielt werden. Frühere Ergebnisse zu den Dimeren $\text{UO}_2)_2(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_x^{2+}$ und $(\text{UO}_2)_2\text{O}_2(\text{H}_2\text{O})_x$ ($x = 0, 2, 4$ und 6) werden zur Veröffentlichung vor-bereitet (AP 1.2).

In AP 2.1 wurde die Untersuchung der Adsorption von Aktinoiden auf $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ weitergeführt. Zusätzlich zu der Adsorption von UO_2^{2+} wurde die Adsorption des Hydrolyseprodukts $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ modelliert. Bei den erhaltenen Oberflächenkomplexen wurde eine gewinkelte Geometrie von U-ranyl und eine Bindung von Uranyl-O-Atomen zu den Al-Atomen des Substrats festgestellt. Für eine der OH-Gruppen ergab sich eine wasserstoffbrückenartige Bindung an die Oberfläche. Von besonderem Interesse ist eine weitere Untersuchung der Adsorption auf der hydroxylierten (0001)-Oberfläche von $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Zur Entwicklung eines angemessenen Modells wurden die Ar-beiten in zwei Richtungen fortgeführt. Sowohl die Adsorption von H_2O auf der reinen Al_2O_3 -Oberfläche als auch die hydroxylierte Oberfläche wurden untersucht. Mittels eines eingebetteten Clustermodells wurde in Übereinstimmung mit anderen Berechnungen festgestellt, dass die disso-ziative Adsorption von H_2O etwa 5 kcal/mol gegenüber der molekularen Adsorption favorisiert ist. Periodische Superzellen-Berechnungen zur Struktur der vollständig hydroxylierten Oberfläche sind derzeit in Arbeit (AP 3.5). Sie stellen die Grundlage zur Parametrisierung eines Kraftfeldes dar, das zur Konstruktion von eingebetteten Clustermodellen (EPE-Methode) der Adsorption be-nötigt wird.

Ergänzend zu AP 3.2 wurde eine approximative Methode (screened nuclear spin orbit, SNSO) zur Behandlung relativistischer Effekte der Elektron-Elektron-Wechselwirkung implementiert und evaluiert. Diese Methode erlaubt eine effizientere, aber in einigen Fällen dennoch adäquate Ap-proximation von Spin-Bahn-Effekten auf Valenzorbitale.

5. Geplante Weiterarbeiten

AP 1.2: Berechnungen an Isomeren von $(\text{UO}_2)_2\text{CO}_3(\text{OH})_3$ werden weitergeführt, ebenso am Ura-nylcarbonat-Trimer.

AP 1.4: Weitere Berechnungen zur Adsorption von UO_2^{2+} und $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ auf Al_2O_3 (AP 2.1).

AP 3.5: Parametrisierung der hydroxylierten Oberfläche $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (0001) (EPE-Einbettung).

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

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

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 30.09.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

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

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, 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. Die Spannweite bei dieser Untersuchung lag bei 6,6 bar – 14,5 bar. 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 alkalischen Lösungen ein Quellen des Abdichtmaterials Bentonit (MX-80) zu erwarten ist.

Für die Untersuchungen mit der Korrosionslösung des Magnesiabinder im Kontakt mit NaCl-Lösung konnte wie in den Messungen zuvor festgestellt werden, dass der gemessene Vertikaldruck oberhalb des gemessenen Horizontaldrucks liegt. Nur für die Reaktion mit der jungen Zementporenlösung wurde ein höherer Horizontaldruck gemessen. Des Weiteren konnte auch eine starke Abhängigkeit des Quelldrucks bezüglich der Temperatur beobachtet werden.

Untersuchungen zum Mineralphasenbestand bei den Reaktionen von Salzbeton/NaCl- bzw. Magnesiabinder/NaCl-Korrosionslösung konnten keine Veränderung im Mineralphasenbestand aufzeigen. Diese Beobachtung steht in Übereinstimmung mit Untersuchungen innerhalb des EU-Projektes ECOCLAY II bei denen Mineralphasenumwandlungen erst bei höheren Temperaturen bzw. erst bei sehr hohen pH-Werten beobachtet worden sind.

5. Geplante Weiterarbeiten

Die Versuche sind weitestgehend abgeschlossen. Es erfolgen noch Auswertungen bezüglich des Phasenbestandes von MX-80 im Kontakt zu salinaren, hochalkalischen Lösungen. In dem nächsten Berichtszeitraum erfolgt die Erstellung des Abschlussberichtes.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Meyer, Th. und Herbert, H.-J. (2003): The long-term performance of cementitious materials in underground repositories for nuclear waste, 11th International Congress on the Chemistry of Cement, Durban, Südafrika, 11.-16. Mai

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

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

4. Ergebnisse

Im Berichtszeitraum (Werte in Klammern: Gesamtstand) wurden 5(91) Minerale, 103(525) Datensätze zu spezifischen Oberflächen, 100(626) Protolyse- und 374(1756) Komplexbildungskonstanten neu in der DB erfasst. Die Recherche läuft kontinuierlich weiter, bisher sind 1031 Literaturreferenzen erfasst.

Die DB wurde um die Möglichkeit persönlicher Einstellungen/Profile ergänzt

Basierend auf dem aktuellen Bestand der Datenbank wurden Oberflächenprotolysekonstanten für wichtige Minerale gesichtet, normiert und bewertet. Dazu wurden Bewertungskriterien für Einzeldaten und Datensätze entwickelt. Das Manual wurde um Kapitel zu theoretischen Modellgrundlagen und zur experimentellen Gewinnung von Parametern ergänzt.

5. Geplante Weiterarbeiten

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

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

V. Brendler, A. Vahle, Th. Arnold, G. Bernhard, Th. Fanghänel: “RES³T-Rosendorf expert system for surface and sorption thermodynamics”, Journal of Contaminant Hydrology, 61(2002), 281-291

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 31.03.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 280.063,20 EUR		Projektleiter: Prof. Dr. Michel

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel dieses Vorhabens ist es, Tone, die als Material für geotechnische Barrieren von Endlagern vorgesehen sind, hinsichtlich ihrer 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 mit Hinsicht auf die folgenden Punkte geprüft, bzw. optimiert werden: maximale Sorptionskapazität für Anionen, maximale Selektivität für Iodid bzw. Chromat(VI), hohe Stabilität unter simulierbaren Endlager- bzw. UTD-Bedingungen, einfache und kostengünstige Herstellung.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- AP 4: Strukturelle Charakterisierung des Zwischenschichttraumes der Organotone
- AP 6: Sorptionsversuche mit Chromat(VI) in Abhängigkeit von 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

4. Ergebnisse

AP 4: Die Oberflächenladung der Organotone wurde elektrokinetisch mit einem Particle Charge Detector durch Titration mit ladungskompensierenden Polyelektrolyten quantifiziert. In erster Abschätzung kann gesagt werden, dass maximal 30 % der Anionenaustauschkapazität auf die äußeren Oberflächen der Organotone zurückzuführen ist. Der größere Teil ist auf diskreten Bindungsplätzen in der Zwischenschicht lokalisiert. Die vollständige Organophilierung der Zwischenschichten von aufweitbaren Dreischichtsilicaten durch Vorweitung mit Alkylammoniumionen (C8, C18) erscheint dadurch eingeschränkt, dass die vollständige Desorption der Alkylammoniumionen nicht überprüft werden kann.

AP 6: Die Chromat(VI)-Sorption an mit HDPy⁺ organophiliertem Vermiculit zeigt eine starke pH-Abhängigkeit. Bei geringen pH-Werten <6 steigt die adsorbierte Chromat(VI)-Menge. Bei den übrigen mit HDPy⁺ modifizierten Tonmineralgruppen ist eine pH-Abhängigkeit ebenfalls zu beobachten, während sie bei anderen organischen Kationen/Ton-Systemen nicht festgestellt werden konnte.

AP 7: Der Einfluss erhöhter Temperaturen während der Sorption liegt bisher bis 60, bzw. bei einigen Varianten bis 70 °C vor. In bidestilliertem Wasser sinkt die IodSORPTION der HDPy-, HDTMA- und BE-Tone bei Temperaturerhöhung auf 60 °C nur sehr leicht, bei BPyDD-Tonen deutlich, beginnend bei 40 °C.

In einer anderen Versuchsreihe wurden die Organotone zunächst für 72 Stunden auf Temperaturen von 40, 60, 80 und 100 °C erhitzt. Der anschließende Sorptionsvorgang fand bei Labortemperatur (22 ± 1 °C) statt. Hier zeigte sich eine signifikante Abnahme der IodSORPTION lediglich bei den BPyDD-Tonen, insbesondere beim Vermiculit.

AP 8: Die temperaturabhängige Abgabe des Zwischenschichtwassers bei Organotonen kann insbesondere für die höher geladenen Vermiculite genau erfasst werden. Kritische Temperaturen für die Abgabe stimmen mit den Ergebnissen von temperaturabhängigen Sorptionsversuchen überein und unterstreichen die Rolle von Zwischenschichtwasser für Anionenaustauschvorgänge. Für BPyDD-Vermiculit wurde eine nicht reversible Phasenumwandlung bei 65 °C festgestellt. Dehydratationsvorgänge bei Organotonen führen nur in wenigen Fällen (HDPy-Vermiculit, BPyDD-Vermiculit) zu einer signifikanten Verringerung der Basisnetzebenenabstände. Für Organotone in Deponiebarrieren mit wärmeerzeugenden Abfällen ist daher nicht im gleichem Umfang wie für ursprüngliche Tone (z.B. Bentonite) mit Schrumpfungsprozessen zu rechnen.

AP 9: Die Testreihen zur Stabilität von Organotonen im salinaren Milieu befinden sich derzeit noch im Vorversuchsstadium, da Schüttler und Inkubatoren bisher mit Proben aus den Temperaturversuchen ausgelastet waren.

5. Geplante Weiterarbeiten

Im Rahmen von AP 4 sollen zum Nachweis der Chromatadsorption im Zwischenschichttraum von Organotonen Proben mittels Röntgen-Absorptionsspektroskopie (XAFS) am Synchrotron des FZ Karlsruhe (ANKA) untersucht werden. Mit Prof. R. Nüesch wurde Zusammenarbeit vereinbart und der November 2003 für die Durchführung vorgesehen.

Die Versuche zur Temperaturvorbehandlung aus AP 7 sollen auf Temperaturen von bis zu 200 °C ausgedehnt werden, die Versuche zu erhöhter Temperatur während des Sorptionsvorganges sollen noch bei Temperaturen bis zu 90 °C durchgeführt werden. Die Versuch aus AP 9 werden in Kürze beginnen.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

B. Riebe, S. Dultz, C. Bunnenberg: Temperature effects on iodine adsorption in organo-clays. I. Influence of pretreatment and sorption temperature.

S. Dultz, B. Riebe, C. Bunnenberg: Temperature effects on iodine adsorption in organo-clays. II. Structural effects of temperature treatments.

(beide Artikel wurden auf der EUROCLAY 2003 Tagung in Modena, Juni 2003, als Poster präsentiert und zur Veröffentlichung in *Applied Clay Science* eingereicht)

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 31.03.2004	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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 quantitátsgerechte Gewinnung der für die Untersuchungen notwendigen Biomasse an *Desulfovibrio äspöensis*.

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

Dazu werden modernste spektroskopische Verfahren wie Laserspektroskopie und Röntgenabsorptionsspektroskopie eingesetzt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in die Arbeitsaufgaben:

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Auswertung der Literatur bezüglich der Wechselwirkung von Cm(III) mit organischen Modellliganden zur Interpretation der eigenen spektroskopischen Messungen
- Literaturrecherche zur möglichen Beeinflussung der Uran-Reduktionsergebnisse durch anwesendes Eisen (vorrangig in sulfidischen Verbindungen)
- Fortführung der Arbeiten zur Optimierung der Anzucht von *Desulfovibrio äspöensis* Biomasse (Ausgang: Aktivkultur des Stammes DSM 10631^T von der DSMZ) bei verringertem Fe-Gehalt im anaeroben flüssigen Medium und auf festem Medium, Aufnahme von Wachstumskurven mittels UV-Vis
- Charakterisierung der Biomasse (Lichtmikroskop und genetische Charakterisierung)

- Fortführung der Versuche zur Aufklärung der Wechselwirkung der Biomasse mit Uran(VI): Untersuchungen der Überlebensfähigkeit/Schädigung der Zellen bei 2 Urankonzentrationen bei pH 6
- TEM/EDX Untersuchungen zur Lokalisierung des akkumulierten Urans
- spektroskopische Messungen zur Aufklärung der U-Speziation im Bioakkumulat (erneute Probenpräparation für XAS-Messungen, erste Anwendung der LIPAS)
- Charakterisierung der Wechselwirkung von Curium im Spurenkonzentrationsbereich mit der Biomasse

4. Ergebnisse

- Teilziel 1: qualitäts- und quantitativgerechte Produktion der Biomasse: kontinuierliche Anzucht und genetische Charakterisierung zur Sicherstellung, dass es sich bei den kultivierten/verwendeten Bakterien tatsächlich um *D. äspöensis* handelt.
- Teilziel 2: Wechselwirkung von *D. äspöensis* mit ausgewählten Actiniden: A) Uran: TEM/EDX Messungen zeigten eine Akkumulation des Urans innerhalb der Zellen im Zytoplasma in der Nähe des Membransystems. Die Zellmembran wirkt intakt. Diese Beobachtung ist überraschend, da in der Literatur bisher bei Sulfat-Reduzierern nur Ablagerungen von UO_2 außerhalb der Zellen berichtet werden. Flow Cytometriemessungen mit einem Live/Dead-Kit zeigten, dass bei pH 6 und $[\text{U(VI)}]_{\text{initial}}: 15 \text{ mg/l}$ nach 72 h noch fast 30 % der Zellen vital sind. Bei 150 mg U/l sind hingegen bereits nach 20 h > 95 % der Zellen geschädigt. Das erneute Vermessen von Proben bei ROBL ergab, dass fast das gesamte Uran in der Oxidationsstufe +6 vorliegt. Das biosorbierte Uran wird wahrscheinlich an phosphatischen Gruppen gebunden. Erste Überblicksmessungen mit der LIPAS konnten ebenfalls kein U(IV) im Bioakkumulat nachweisen. *D. äspöensis* scheint nur geringe Mengen des angebotenen Urans zu U(IV) zu reduzieren. Die ablaufenden Prozesse sind kompliziert und setzen sich wahrscheinlich aus Biosorption und Bioreduktion verbunden mit dem Eindringen des Urans in die Zelle zusammen. B) Curium: Es wurde keine Einlagerung des Cm(III) in die Zellen und keine Änderung der Oxidationsstufe beobachtet. Im Gegensatz zum Uran liegt es bei pH 3 als Aquo-Ion vor und tritt nicht mit den Bakterien in Wechselwirkung. Im pH-Bereich 4 bis 7.5 bildet sich ein stabiler Oberflächenkomplex des Cm(III) mit funktionellen Gruppen der Zellwand (Emissions-Maximum: 600.1 nm, Fluoreszenzlebensdauer: $160.5 \pm 1 \mu\text{s}$). Diese neue Spezies hat eine 3fach höhere Fluoreszenzausbeute (FI: 2.6 ± 0.3) als Cm^{3+} . Die lange Fluoreszenzlebensdauer zeigt, dass das Cm(III) fast seine gesamte Hydrathülle (9 Wassermoleküle in der ersten Koordinationssphäre) verliert. Nur noch 3 Wassermoleküle sind koordiniert, erstaunlich, da die Bandenverschiebung nicht so groß ist. Die Koordinationszahl 9 bleibt erhalten. Die frei werdenden Bindungsstellen werden wahrscheinlich von organischen Phosphatgruppen der Bakterienoberfläche besetzt. Es handelt sich um eine reversible Biosorption. Die pH-abhängigen Spektren wurden unter Verwendung der Faktoranalyse entfaltet. Die Erstellung eines Speziationsdiagramms wird somit möglich.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Biomassegewinnung von *D. äspöensis*, Optimierung der Herstellung, genetische Charakterisierung
- Abschließende Arbeiten zur Wechselwirkung mit Uran (XAS, LIPAS, TEM/EDX, Flow Cytometry)
- Planung von Versuchen zur Charakterisierung der funktionellen Gruppen der Bakterienoberfläche mittels Titration
- Zusammenfassung der Ergebnisse Cm(III) + Biomasse als Veröffentlichung
- Zusammenfassung der Ergebnisse U + Biomasse als Veröffentlichung
- TRLFS mit Modellverbindungen zur Verifizierung der Ergebnisse Cm(III)-Biomasse
- Planung und erste Überblicksversuche zur Wechselwirkung mit Neptunium und Plutonium
- Erarbeitung eines Vortrags zur Vorstellung der Ergebnisse des Projektes (Uran + Curium) auf der internationalen Konferenz Migration'03 in Korea im September 2003

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9501
Vorhabensbezeichnung: Goelektrische 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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 aufgefahen und bewettert, so dass von einer Austrocknung des Tongesteins und somit von einer erheblichen Änderung der petrophysikalischen Eigenschaften des Gesteins in der beeinflussten Zone auszugehen ist. Zur Untersuchung dieser Effekte wird zusammen mit ENRESA, NAGRA und IPSN ein repräsentativer Ventilationsversuch durchgeführt. Untersucht werden die Veränderungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Gebirgseigenschaften.

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Fortlaufende Auswertung der In-situ-Messdaten
- Weiterführung und Abschluss der Resistivitätsuntersuchungen im Labor ausgehend vom aufgesättigten Zustand unter definierten Trocknungsbedingungen sowie Auswertung der Labormessungen.

4. Ergebnisse

- Bis zum Ende des Berichtszeitraums waren die Arbeiten zur Inbetriebnahme des Ventilationsystems noch nicht vollständig abgeschlossen, so dass die Ventilation noch nicht begonnen werden konnte. Die ausgewerteten Tomogramme von Oktober 2002 bis Mai 2003 zeigen eine sehr gleichmäßige Resistivitätsverteilung mit Resistivitätswerten zwischen 6 und 25 Ωm . Diese Werte repräsentieren ein praktisch voll gesättigtes Gebirge. Die Elektrodenfixierung durch Einschlagen der Elektroden mit dem Hammer in etwas kleinere Vorbohrungen, welche an der Tunnelwand praktiziert wurde, ist offensichtlich besser als diejenige in den Messbohrlöchern, wo die Elektroden durch eingestampftes Bohrklein gegen das Gebirge gepresst werden. Die Messwerte an der Tunnelwand liegen fast ausschließlich bei 6 Ωm .
- Ausgehend von einem Wassergehalt von 7,3 Gew. % bis 7,8 Gew. % nach Aufsättigung wurde der Wassergehalt der BVE-Proben im Labor zunächst durch Lufttrocknung und anschließend durch Erwärmung verringert. Die Resistivitäten wurden in Abhängigkeit vom Wassergehalt ermittelt. Die Resistivitäten bei Vollsättigung lagen zwischen ca. 4,7 Ωm und 7,2 Ωm und nahmen nach der Trocknung auf ca. 174 Ωm bis 237 Ωm zu. Die Untersuchungen ergaben, dass die Resistivitäten erst bei geringeren Wassergehalten stärker anstiegen.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der In-situ-Messungen mit periodischer Auswertung
- Nach Abschluss der In-situ-Versuche in 2004 sind Nachuntersuchungen am Tongestein des Mikrotunnels zur Überprüfung der vorliegenden Resistivitäten vorgesehen.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

- Wieczorek, K., Rothfuchs, T., 2003: Mont Terri Ventilation Test, Data Report Geoelectric Monitoring, Status as of 15 May 2003
- Miehe, R., Hellwald, K., Rothfuchs, T., Laboratory calibration measurements on clay samples from VE-test field (Mont Terri) for the determination of the resistivity of the Opalinus Clay at different water content, Final Report, Deliverable 7a, CEC Contract-No. FIKW-CT-2001-00126

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 31.01.2004	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003
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 Verschleißmaterialien sowie zu Aspekten der Standorterkundung.

AP2: Endlagerbehälterkonzepte

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

AP3: Endlagerauslegung/-technik

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

AP4: Endlagersicherheit der Betriebsphase

Behandelt werden hier die Themen Strahlenschutz, Safeguards sowie Kritikalität.

AP5: Endlagersicherheit in der Nachbetriebsphase

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

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

Im Rahmen des AP1 wurde damit begonnen, die veröffentlichten Berichte zum „Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle“ der Schweiz auszuwerten. Die Arbeiten zu den Endlagerbehälterkonzepten im AP2 und im AP3 Endlagerauslegung/-technik wurden fortgeführt. Die Bearbeitung der Safeguards-Aspekte im AP4 wurde aufgenommen.

4. Ergebnisse

Auf der Basis eines HAW-Kokillen-Endlagergebinderkonzepts (Bohrlochlagerung mit 7 Kokillen/Bohrloch) wurde mittels thermischer Auslegung für die nach dem Abfallmengengerüst anfallenden 4.778 Kokillen, der Endlagerflächenbedarf mit 0,5 Mio. m² ermittelt. Die bergmännische Grundlagenermittlung zum Wirtsgestein Ton erbrachte, dass gegenüber dem Salzkonzzept erhöhte Aufwendungen zur Streckensicherung zu erwarten sind. Eine erste Bewertung des Tonkonzepts ergab weiterhin, dass der Flächenbedarf des Endlagers unter gleichen Randbedingungen ein vielfaches höher sein wird, als im Endlagermedium Salz. Daraus folgernd liegen die Kosten hinsichtlich untertägiger Erkundung und Erhaltung deutlich über den Kosten des Salzkonzzepts.

5. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten am AP3 werden mit der Berechnung einer Startkonfiguration für ein Streckenlagerungsendlagerfeld fortgeführt. Die radiologische Betrachtung des Endlagergebinderkonzepts für die Bohrlochlagerung wird abgeschlossen. Die bergmännische Grundlagenermittlung zum untertägigen Bohren im Tongestein wird die Zusammenstellung der bergmännischen Grundlagen zum Wirtsgestein Ton abschließen. Die Bearbeitung der Safeguards-Aspekte eines Endlagers im Ton wird fortgeführt.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Vortrag in Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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, das nachweisbare Sicherheitsniveau eines Endlagers in den Wirtsgesteinen Granit und Ton im Rahmen vorliegender Endlagerkonzepte konzeptionell zu bestimmen. Dabei ist sowohl die ungestörte als auch die gestörte Entwicklung des Endlagers zu betrachten und im Sinne der IAEA-Empfehlung sowohl ein Dosisgrenzwert für die ungestörte Entwicklung des Endlagers anzusetzen als auch ein Risikogrenzwert für die gestörte Entwicklung. Um einen objektiven, einheitlichen Sicherheitsmaßstab zu erhalten, ist geplant, eine nachweisbare obere Schranke für das Gesamtrisiko zu ermitteln. Dieser Wert lässt sich sowohl mit von konventionellen technischen Anlagen ausgehenden hypothetischen Risiken als auch mit realen Lebensrisiken von Menschen vergleichen. Der Vergleich soll durchgeführt werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

AP1: keine

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. Der hydraulische Widerstand der geotechnischen Barrieren wird bestimmt durch die drei Elemente Abdichtungskörper, Auflockerungszone und Kontaktzone, die parallel zueinander angeordnet und gesondert zu bewerten sind, da gerade Auflockerungs- und Kontaktzone oft das hydraulische Verhalten eines Dichtungssystems dominieren. 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.

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. Vorgesehen ist es, dieses Modell, soweit dies aufgrund der vorliegenden Datenbasis möglich ist, auf die Endlagerformationen Granit und Ton 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. Ergebnisse

AP3: Im Zusammenhang mit der Erstellung der Datenbasis zur Quantifizierung von geotechnischen Barrieren konnte festgestellt werden, dass für einige Materialien eine Datenbasis vorliegt, die es erlaubt, den Abdichtungskörper quantitativ zu bewerten. Dabei zeigte sich, dass es offensichtlich Bedingungen gibt, unter denen in einem Material kein Transport von Wasser oder wasserlöslichen Stoffen mehr stattfindet, obwohl für das Material mit Gas eine Permeabilität gemessen werden kann. Eine Erklärung dafür könnten elektrokinetische Kräfte zwischen den Materialien und polaren Flüssigkeiten sein.

AP4: Anhand 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.

5. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Neu vorliegende Information in die Arbeiten einbeziehen

AP2: Untersuchung von Einzelbarrieren fortsetzen unter Einbeziehung der Behälter

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

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

keine

7. 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 776.566,00 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 entwickelten faseroptischen Sensoren in einer Tonformation demonstriert werden. Die in Computerprogrammen für sicherheitstechnische Auslegungsrechnungen verwendeten Stoffgesetze werden erweitert.

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Zu 1: Auf Grund der Verzögerungen beim Schachtabteufen in Bure wurde der geplante Erhitzerversuch zeitlich verschoben. Ersatzweise führt die ANDRA 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.
- Zu 2: Zur Vorbereitung des Experimentes bzw. zur Aufstellung eines möglichst optimalen Versuchskonzeptes wurden von allen beteiligten Organisationen „Scoping calculations“ auf der Basis eines Referenzdatensatzes durchgeführt. Die Referenzdaten wurden anhand bisheriger Labor- und in-situ Untersuchungen festgelegt. Die von DBE TECHNOLOGY durchgeführten numerischen 3D-Berechnungen dienten in erster Linie der Auslegung und Konfiguration des zu installierenden faseroptischen Mess-Systems. Die Berechnungen wurden in einem gesonderten Bericht dokumentiert.
- Zu 3: Unter Bezug auf die Auslegungsberechnungen wurde das faseroptische Mess-System hinsichtlich dynamischem Messbereich, Auflösungsvermögen, Messintervalle und Einbaukonfiguration festgelegt. Die Versuchskonfiguration wurde in einem gesonderten Bericht dokumentiert. Die Lokation der notwendigen Bohrung wurde in einer entsprechenden Planungssitzung festgelegt. Die Messungen umfassen die Temperaturentwicklung und Gesteinsdeformationen, die sich auf Grund der thermischen Expansion des Tongesteins als Reaktion auf die Erhitzung ergeben. Mit dem Bau des Mess-Systems wurde begonnen.

4. Ergebnisse

Anhand von Auslegungsberechnungen konnte die zu erwartende Temperaturentwicklung und Gesteinsdeformation im Umfeld der Erhitzer ermittelt werden.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Fertigstellung des endgültigen gemeinsamen Versuchsplanungsdokumentes
- Fertigung und Kalibrierung des faseroptischen Mess-Systems
- Weitere Berechnungen zum Verformungsverhalten der Tonformation
- Installation und Betrieb des Mess-Systems
- Vergleichende Analyse von Messungen und Berechnungen

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Planungsberichte zur rechnerischen Auslegung und Versuchskonfiguration

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

- Durchführung eines gekoppelten HM-Versuchs an einer Tonprobe
- Erprobung eines Ventilationssystems an einer Tonprobe
- Weiterführung von Langzeit-Kriechversuchen an Tonproben
- Modellrechnungen zur Analyse der gekoppelten HM-Prozesse im Opalinuston
- Beendigung des Diffusionsversuches

4. Ergebnisse

- Unter einer hydrostatischen Spannung von 5 MPa und einem Wasserinjektionsdruck von 3 MPa wurde kein Austritt von Porenwasser aus der Tonprobe gemessen. Eine Erhöhung der Spannung von 5 auf 12 MPa bewirkt bei gleichzeitiger Absperrung des Leitungssystems eine Erhöhung der Porenwasserdrücke an den Probenendseiten von 2,5 – 4,5 auf 8 – 9,5 MPa.
- Bei der Erprobung eines Ventilationssystems wurde eine Tonprobe (D/H=100/100mm) unter einer hydrostatischen Spannung von 15 MPa durch Zirkulation von trockener Luft in einer Zentralbohrung (d=10mm) entsättigt und anschließend mit feuchter Luft aufgesättigt. Dabei wurden Änderungen von Ultraschallsignalen zur Erkundung der Materialschädigung mit fünf Messsensoren beobachtet. Die Ultraschallsignale verändern sich sowohl durch die mechanische Belastung als auch durch die Ent- bzw. Aufsättigung. Dies könnte auf Probeschädigungen infolge der mechanischen Belastung sowie infolge der Ventilation hinweisen.
- Unter sehr niedrigen Axialspannungen von 0,7–1,0 MPa wurden in einem Zeitraum von 70 Tagen Kriechverformungen von 0,05–0,1 % an den Tonproben aus Bure gemessen.
- Im Rahmen von Modellrechnungen mit dem Programm CODE-BRIGHT wurden gekoppelte HM-Prozesse im Opalinuston infolge der Auffahrung und Ventilation von Strecken simuliert. Die berechneten Streckenkonvergenzen und Porenwasserdrücke im Tongebirge stimmen sehr gut mit In-situ-Beobachtungen überein.
- Es wurden Diffusionskoeffizienten für Iodid, Cäsium und Selenat berechnet.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Fachgespräche mit ANDRA zur endgültigen Festlegung der Beteiligung am Bure - Forschungsprogramm
- Weiterführung von THM - Laborversuchen
- Weiterführung von langfristigen Kriechversuchen
- Weiterführung der Entwicklung von Messverfahren zur Erkundung von Materialschädigungen
- Messungen des Quelldrucks und der Wasserpermeabilität in Oedometerzellen
- Fortführung der Einarbeitung in die Handhabung des Programms CODE-BRIGHT und Durchführung orientierender THM – Modellrechnungen
- Erstellung des Abschlussberichtes

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Weitergehende Charakterisierung des Standorts Ruprechtov

- Durchführung analytischer Arbeiten an Sedimentproben (chemische, mineralogische und radiometrische Analysen, sequentielle Extraktion und Sedimentation, Porenwasseranalysen).
- Grundwasser-Beprobungen an allen Grundwassermessstellen zur Ermittlung der chemischen Zusammensetzung und des Gehalts an natürlichen Isotopen.

- Verbesserung der Eh-, pH- und S²⁻- Messungen im Grundwasser mit einer In-situ-Sonde.
- Ermittlung der großräumigen hydrogeologischen Verhältnisse.

Weitergehende Charakterisierung des Standorts Heselbach

- Auswertung der Laborergebnisse von sequentiell extrahierten Sedimentproben.
- Durchführung von in-situ slug- & bail- Tests zur Ermittlung der hydraulischen Leitfähigkeiten von Sedimentschichten.
- Grundwasser-Beprobungen mit Analytik der Haupt- und Spurenelemente.
- Auslesung der Wetterstationsdaten und Aufbereitung der Messwerte.
- Ermittlung der Tritiumkonzentrationen und der stabilen Isotopenzusammensetzung ($\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^2\text{H}$) an ausgewählten Grundwässern.

4. Ergebnisse

Ruprechtov:

- Sedimentologische Ergebnisse und der Nachweis detritischer Monazite deuten klar auf einen zusätzlichen synsedimentären Uraneintrag am Standort hin.
- Die geochemischen Eigenschaften und Gehalte an natürlichen Isotopen der Grundwässer belegen das Auftreten einer Störungszone mit Eintrag von CO₂ aus Exhalationen.
- Der Einsatz der In-situ-Sonde weist ein deutlich negatives Redoxpotential in Grundwässern der Urananreicherungshorizonte nach.

Heselbach:

- Ergebnisse der sequentiellen Extraktion belegen, dass Uran überwiegend in adsorbierter Phase oder an organischem Material gebunden vorliegt. Korrelation von leicht löslichem Eisen, Uran und pH-Wert in einzelnen Proben deutet auf Urananreicherung an Eisenoxyhydroxiden hin.
- Tritiumbestimmungen zeigen für den Tertiärrinnen-Randbereich Anteile älteren Wassers, während das Keuper-Grundwasser rezente Isotopenzusammensetzung aufweist. Der genetische Unterschied der Grundwässer wird durch Unterschiede in den $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Werten bestätigt.

5. Geplante Weiterarbeiten

Standort Ruprechtov:

- Spezielle Untersuchung von Granit- und Kaolinproben auf Urananreicherungsprozesse.
- Erstellung eines detaillierten hydrogeologischen Modells.
- Überarbeitung des konzeptuellen Modells für die Uranmigration am Standort.
- Vorbereitung einer weiteren Bohrkampagne auf Basis der bisherigen Ergebnisse.

Standort Heselbach:

- Abteufen von zwei zusätzlichen Bohrungen im Tertiärrinnen-Randbereich.
- Weiterführung der analytischen Arbeiten an neu gewonnenem Probenmaterial. (Charakterisierung von Tonmineralen; Porositätsmessungen).
- REM/EDX Analytik an ausgewählten Proben mit hohen Uran-Gehalten.
- Aufbau eines Grundwassermodells (Modflow).

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

keine

6. 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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/Lösungs-Verhältnis, der Rohdichte und der Temperatur aufzustellen. Das empirische Modell wird die experimentell ermittelten Zusammenhänge durch Regression beschreiben.

3. Durchgeführte Arbeiten

Es wurden folgende Serien von jeweils 10 Quelldruckmessungen an MX-80 und Calcigel bei Einbaudichten von 1,55-1,6 g/cm³ mit Salzlösungen durchgeführt:

- | | | | |
|----|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1. | MX-80 + IP19-Lsg. | 1,55g/cm ³ | kleine zylindrische Zelle |
| 2. | Calcigel + NaCl-Lsg. | 1,60g/cm ³ | kleine zylindrische Zelle |
| 3. | Calcigel + IP21-Lsg. | 1,60g/cm ³ | kleine zylindrische Zelle |
| 4. | MX-80 + NaCl-Lsg. | 1,60g/cm ³ | große zylindrische Zelle |
| 5. | Calcigel + IP21-Lsg. | 1,60g/cm ³ | große zylindrische Zelle |
| 6. | Calcigel + IP21-Lsg. | 1,60g/cm ³ | Quaderform |

Ein weiterer Schwerpunkt des Messprogramms lag auf Quelldruckmessungen mit der großen zylindrischen- und quaderförmigen Zelle. Des Weiteren wurden mehrere Versuche mit kompaktiertem MX-80 und NaCl-Lösung bei Temperaturen von 120° C durchgeführt.

4. Ergebnisse

Der Mittelwert der Quelldrücke von MX-80 mit IP-21 in der großen zylindrischen Messzelle beträgt $13,2 \pm 2,1$ bar und mit gesättigter NaCl-Lsg. $12,2 \pm 1,9$ bar. Die deutlichen Unterschiede im Quelldruck zwischen IP21-Lösung und NaCl-Lösung, die in den kleinen zylindrischen Zellen gefunden wurden, zeigen sich bei den Messungen in den großen Zellen nicht. Für Calcigel mit IP-21 liegt der Mittelwert bei $4,8 \pm 1,2$ bar. Der Vergleich mit NaCl-Lsg. ist in Bearbeitung. Anders als erste Probenmessungen im letzten Berichtszeitraum erwarten ließen, wurden mit der großen zylindrischen Zelle deutlich höhere Quelldrücke gemessen als mit der kleinen Zelle. Drei Quelldruckmessungen in der Quaderform lassen nicht erkennen, dass die Geometrie einen Einfluss auf den Quelldruck hat. Die Werte sind vergleichbar mit den Werten die in der großen zylindrischen Messzelle bei gleichem Probenvolumen gewonnen wurden.

Bei den Temperaturversuchen bei 120° C traten Schwierigkeiten auf. Die Kolbendichtungen aus Viton werden bei dieser Temperatur plastisch und können deshalb dem Laugendruck von 100 bar nicht standhalten. Die Messwerte sind nicht interpretierbar.

5. Geplante Weiterarbeiten

Die weiteren Arbeiten konzentrieren sich auf die Messungen von Proben mit der Dichte 1,7 und 1,8 sowie auf die Messungen bei erhöhten Temperaturen. Für die 120° C Versuche muss ein neuer Stempel mit neuem Dichtsystem angefertigt werden.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Herbert, H.-J. (2003): Quelldruckmessungen und Langzeitstabilität von Bentoniten im Kontakt zu hochsalinaren Lösungen – Vortrag auf dem PtWT+E-Fachgespräch Verschlussbauwerke 1993 – 2003, Freiberg, 17. -18.03.2003

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 179.917,00 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

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

- 02E9612 – Anforderungen an die Standorterkundung für HAW Endlager im Hartgestein (AS-TER)
- 02E9642 – Untersuchungen zur Endlagerung in den Großbohrlöchern

um die notwendigen Abstimmungen mit beteiligten deutschen Partner BGR, GRS und ausländischen Institutionen für die planmäßige Durchführung der Vorhaben zu treffen, sowie auf die Vorbereitung und Durchführung eines bilateralen Sachverständigentreffens zu der vor 2 Jahren aufgenommenen wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerforschung, auf dem eine positive Gesamtbilanz gezogen werden konnte.

Weiterhin wurde auf der Grundlage eines zwischen BGR, VNIPI Promtechnologie und Bergbau-Chemischen-Kombinat geschlossenen Vertrages ein neues Projekt zur Auswertung des Langzeitmonitorings von industriell genutzten Wärmequellen im Kristallingestein initiiert.

In diesem Zusammenhang fand im Juni 2003 ein Studienaufenthalt deutscher Spezialisten mit Befahrung der untertägigen Beobachtungsobjekte des Bergbau-Chemischen-Kombinats statt.

4. Ergebnisse

Mit dem Protokoll des bilateralen Sachverständigentreffens vom Mai 2003 in Berlin wurden die Arbeitsrichtungen für die weitere Zusammenarbeit abgestimmt. Neben methodischen Fragen zur Standorterkundung und – auswahl soll der Erfahrungsaustausch zu Methodiken der Sicherheitsbewertung intensiviert werden.

5. Geplante Weiterarbeiten

Neben der Fortführung der Begleitung der Arbeiten zu den unter Ziff. 3 genannten Vorhaben bildet die Umsetzung des Protokolls des Sachverständigentreffens vom Mai 2003 den Schwerpunkt der weiteren Arbeiten.

Darüber hinaus ist vorgesehen, die Zusammenarbeit um Fragestellungen des Kolloidtransportes sowie der Entwicklung von Behältern und Konditionierungsverfahren für hochradioaktive Abfälle zu erweitern.

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

keine

7. 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 31.12.2003		Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

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

4. Ergebnisse

Die Salzgewinnung in der Abbaukammer 2111 wurde Anfang 2003 abgeschlossen. Diese Beendigung der Abbautätigkeit ist mit den Konvergenzmessstellen in der Zufahrt zum Anhydritmessort nachzuweisen. Die Spannungs- und Permeabilitätsmessungen zeigen keine signifikanten Änderungen, die Messungen werden nach dem Abklingen der Gebirgsbewegungen infolge der Abbautätigkeit wiederholt. Bis dahin wird versucht, die Auflösungsgenauigkeit der Messverfahren zu verbessern.

5. Geplante Weiterarbeiten

Entsprechend der Vorhabensbeschreibung.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Vortrag in Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

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 31.12.2003		Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 542.610,00 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Wiczorek	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

AP 7: Auswertung und zusammenfassende Berichterstattung

3. Durchgeführte Arbeiten

AP 1:

- Die Registrierung sowie Vorauswertung der seismischen Ereignisse wurden fortgesetzt.
- Weiterführende Auswertung der seismischen Ereignisse durch ESG.
- Wartung der Seismikanlage.

AP2:

- Vorauswahl von Lokationen für die Permeabilitätsmessungen.

4. Ergebnisse

AP 1:

Die bereits im vorigen Halbjahresbericht vorgestellte Annahme einer mit dem Abbaufortschritt einhergehenden zeitlichen Entwicklung der Ereignishäufigkeit hat sich durch die von ESG vorgenommenen eingehenderen Auswertungen bestätigt. Die Ereignishäufungen lassen sich in 6 Bereiche unterteilen, von denen sich fünf sattelförmig in einer Teufe von 430 m bis 460 m konzentrieren. Eine Ereignishäufung kann dem Bereich der Auffahrungstrecken zugeordnet werden.

AP 2:

Aufgrund der georteten seismischen Ereignishorizonte wurden mögliche Lokationen für das geplante Permeabilitätsmessbohrloch vorausgewählt und müssen noch mit K&S Bernburg abgestimmt werden.

5. Geplante Weiterarbeiten

AP 1:

Registrierungen und Auswertung der Ereignisse unter Verwendung der von ESG entwickelten Auswerteroutine.

AP 2:

Durchführung von Permeabilitätsmessungen in unterschiedlich aufgelockerten Gebirgsbereichen.

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

keine

7. 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Aus den 4 Untersuchungsbohrungen wurden wie geplant in 3-monatigen Abständen Gasproben für die Analyse entnommen.

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

Die Laboruntersuchungen zur Ermittlung der Gasfreisetzung bei 100 °C in Abhängigkeit von der Zeit wurden fortgeführt.

Für die geoelektrische Kalibrierung im Labor wurden Kerne aus unterschiedlichen Bohrungen des Mont Terri präpariert. Die Proben wurden dann bei Raumtemperatur langsam getrocknet und die Resistivität in Abhängigkeit von der Feuchte bestimmt.

Die Versuchsbeteiligten sind übereingekommen Ende August 2003 die elektrischen Erhitzer abzuschalten. Für die Nachuntersuchungen ist ein Untersuchungsprogramm mit Testplan erstellt worden.

4. Ergebnisse

Die In-situ-Untersuchungen haben ergeben, dass in den Untersuchungsbohrlöchern in Erhitzernähe die Konzentration der Komponenten Helium, Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffe sowie der Gasdruck weiter ansteigt.

Die ursprünglich homogene Resistivitätsverteilung von 15 bis 20 Ωm hat sich im aufgeheizten Gebirge auf 5 Ωm erniedrigt. Nach Erreichen eines stationären Temperaturfeldes hat sich keine weitere Veränderung ergeben.

Die Trocknung der Bohrkerne bei Raumtemperatur führt zu einer Gewichtsabnahme von ca. 3 %, hierbei erniedrigt sich die Resistivität um den Faktor 5 bis 10 bezogen auf den Ausgangszustand.

5. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der In-situ-Messungen zur Gasfreisetzung und elektrischen Widerstandsverteilung bis zum Abschalten der Erhitzer Ende August.

Auswertung und Darstellung der Ergebnisse zur Gasfreisetzung in Abhängigkeit von der Zeit. Resistivitätsmessungen und Feuchtigkeitsbestimmungen an Kernen aus dem Versuchsfeld, die unmittelbar nach Abschalten der Erhitzer erbohrt wurden.

Laboruntersuchungen in Abhängigkeit vom Wassergehalt bei Temperaturen bis 70 °C.

Gasfreisetzungsuntersuchungen an Kernen aus dem Versuchsfeld, die unmittelbar nach Abschalten der Erhitzer erbohrt wurden.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

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 31.12.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 360.313,00 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.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Ermittlung und Bewertung der verfügbaren Ausgangsdaten

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

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

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

AP5: Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten

AP1:

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

Für den Porphyrstandort wurden die wesentlichen Ausgangsdaten gleichfalls anlässlich eines Vorort-Besuches vervollständigt und präzisiert werden.

AP2:

Den Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum stellten die Endlagerauslegung für den Granitstandort dar. Zunächst wurden für alle Abfallfraktionen Einlagerungskonzepte entwickelt. Im weiteren wurden für die am stärksten wärmeentwickelnde Cs/Sr-Fraktion thermische Auslegungsrechnungen durchgeführt. 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 Wärmeisoliationsstein. Hierfür wurden die minimalen Bohrlochabstände und die maximal mögliche Behälteranzahl je Bohrloch ermittelt.

AP5:

In Abstimmung mit den anderen Projektpartnern wurden die Gliederung und die inhaltlichen Vorgaben für den Abschlussbericht erarbeitet.

4. Ergebnisse

Auf Grundlage der erarbeiteten Einlagerungskonzepte und der durchgeführten thermischen Auslegungsrechnungen konnte eine erste Abschätzung der erforderlichen Größe des Einlagerungsfeldes für eine Granitformation vorgelegt werden.

5. 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 Granitblocks für die Aufnahme des Endlagers zu ermitteln. Hinsichtlich der Porphyrfornation ist eine Hochrechnung an Hand der für Granit durchgeführten Auslegungsrechnungen vorgesehen.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

J. Krone et al.:

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

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

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 31.12.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 272.595,00 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:

A: Untersuchungen im Granit

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

B: Untersuchungen im Porphyry

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

3. Durchgeführte Arbeiten

Für den Standort Krasnojarsk ist ein erstes großräumiges Strömungsmodell erstellt worden, welches die bis heute zur Verfügung gestellten Gebietsdaten enthält. Auf dessen Grundlage wurde anhand der berechneten Fließgeschwindigkeiten und der bevorzugten Fließwege ein potentiell Endlagergebiet ausgewiesen. Dieses soll in der Folgezeit in einem zusätzlichen Nahfeldmodell näher untersucht werden. Des Weiteren wurde die Relevanz diverser Parameter wie die Kluftöffnung, die Leitfähigkeit und die Grundwasserneubildung auf die Grundwasserströmung in der potentiellen Endlagertiefe untersucht. Zur Zeit wird ein Nahfeldmodell erstellt, welches zusätzlich zum bisherigen Modell die Einflusszone der Klüfte beinhaltet. Des Weiteren werden Vorbereitungen für die Transportrechnung getroffen.

Für den Standort Mayak werden auf Grund der besonders großen Komplexität und der vielfältigen Publikationen noch immer aussagefähige Daten zusammengestellt und neue Literatur gesichtet. Mit der Technischen Universität Braunschweig wurde ein Vertrag geschlossen, der die Erstellung eines zweidimensionalen Strömungs- und Transportmodells unter Berücksichtigung von Wärmeeinwirkung vorsieht.

Vom 25.-28.03.03 fanden in der Nähe von Oserk Gespräche mit Vertretern des Forschungszentrums Mayak statt. In diesem Rahmen wurde unter anderem auch über eine weitergehende Zusammenarbeit und einen zusätzlichen Datentransfer gesprochen.

Am 22.05.03 fand in Peine ein Arbeitstreffen mit den russischen Kollegen statt.

Vom 29.06.-06.07.03 fanden Gespräche mit Vertretern des Instituts für Geologie der Russischen Akademie der Wissenschaften (IGEM, RAS) in Moskau und mit Vertretern des Bergbau-Chemischen Kombines (MCC) in Zheleznogorsk sowie eine Besichtigung der unterirdischen Anlagen statt. Daran schloss sich ein Besuch des Geologischen Dienstes (KNIIGIMS) in Krasnojarsk an.

4. Ergebnisse

keine

5. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Krone, J.; Jobmann, M.; Gupalo, T.; Fahrenholz, C.; Brewitz, W.; Fein, E.; Hammer, J.:
Deutsch-Russische Zusammenarbeit zur Entwicklung eines methodischen Ansatzes für die Standort-suche und Standortauswahl in Hartgesteinsformationen, Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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 nichtsalinaren Wirtsgesteinsformationen durchführen zu können, muss als Grundlage u.a. das mechanische und hydraulische Verhalten von Tongestein sowie die hydromechanischen Wechselwirkungen, die bei Tongesteinen eine größere Bedeutung haben als z.B. bei Granit oder Salzgesteinen, grundlegend erforscht werden. Darüber hinaus muss ein Instrumentarium erarbeitet werden, mit dessen Hilfe das Tragverhalten und die Funktionsfähigkeit

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

analysiert und prognostiziert werden können.

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Beschaffung von Bohrkernmaterial aus folgenden Lagerstätten:
- Konrad, Schacht 1/2, Deutschland (Kernlager BGR, ca. 12m Bohrkernmaterial),
- Mont Terri, Schweiz (3 Kernstrecken von der NAGRA erhalten, Aussicht auf weiteres Material Ende 2003),
- Bure, Frankreich, (drei Bohrkernproben von der ANDRA erhalten, Aussicht auf weiteres Material Anfang 2004),
- Konstruktion und Bau von Prüfständen für triaxiale Langzeitversuche mit Dilatanz- und Permeabilitätsmessung (voraussichtlich einsatzfähig ab Ende 2003) sowie Nachrüstung bestehender Prüfanlagen zur Berücksichtigung von Porenwassereffekten (Konstruktionsphase),
- Versuchsreihe zum Feuchtigkeitsänderungsverhalten von Tongestein unter definierten labortechnischen Bedingungen durchgeführt,
- 1. Zwischenbericht „Gesteinsmechanische Untersuchungen an Tonstein der Lokation Mont Terri“ erstellt, weitere Versuchsreihen geplant und in Bearbeitung,
- 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,
- 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 von numerischen Modellberechnungen mit aus der Literatur abgeleiteten Eingabeparametern anhand von Testmodellen für die Lokationen Schacht Konrad und Bure.

4. Ergebnisse

- 1. Zwischenbericht „Gesteinsmechanische Untersuchungen an Tonstein der Lokation Mont Terri“ (Ermittlung von Kriechparametern, Bruchfestigkeitsparametern).
- Implementierung des Stoffmodellansatzes für Tonstein und HM-Kopplung in MISES3.
- Durchführung von numerischen Modellberechnungen (Testmodell Schacht Konrad, Testmodell Bure).

5. Geplante Weiterarbeiten

- Beschaffung von weiteren Tonsteinproben aus Bure in Frankreich (ANDRA),
- Fertigstellung der geplanten Prüfstände für triaxiale Langzeitversuche mit Dilatanz- und Permeabilitätsmessung,
- Abschluss und Auswertung der laufenden TC-/ TCC-Testreihe mit Tonstein aus Konrad, Planung und Durchführung weiterer Versuche entsprechend der Aufgabenstellung,
- Durchführung von Verifikations- und Validationsberechnungen.

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

keine

7. 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003
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

Zu AP1:

Auf der Grundlage der von DBE TECHNOLOGY erarbeiteten Methodiken hat VNIPI Prom-technologie, die Ergebnisse einer vertieften Abfallcharakterisierung vorgelegt und mit der Entwicklung vorläufiger Abfallannahmekriterien begonnen. Die nunmehr vorliegende bessere Kenntnis der sicherheitsrelevanten Bestandteile der Abfälle, insbesondere der Anteil langlebiger Radionuklide und gasbildender Stoffe, ermöglicht es, realistischere Annahmekriterien zu formulieren.

Zu AP2:

Gleichfalls anhand einer von DBE TECHNOLOGY erarbeiteten Methodik zur umfassenden Qualifizierung des Versatzmaterials hat VNIPI Promtechnologii Laborversuche mit einer von ihr vorgeschlagenen Versatzmischung durchgeführt, die jedoch nicht die gewünschten Ergebnisse brachte. Nach Auswertung der vorgelegten Prüfberichte wurden Vorschläge zur schrittweisen Optimierung der Versatzzusammensetzung unterbreitet, die gegenwärtig umgesetzt werden.

Zu AP5:

Den von DBE TECHNOLOGY übergebenen Vorgaben folgend hat VNIPI Promtechnologii die funktionellen Anforderungen an die Einlagerungstechnik formuliert, um eine sichere und zuverlässige Einlagerung der Abfallgebinde in ca. 100 m tiefer Bohrlöcher, sowie deren ausreichenden Versatz sicher zu stellen.

4. Ergebnisse

Hinsichtlich der drei Arbeitspakete liegen jeweils die methodischen Grundlagen für die weitere Bearbeitung vor. Sie haben sich bei der Umsetzung durch VNIPI Promtechnologii zutreffend erwiesen.

5. Geplante Weiterarbeiten

Zu AP1:

Fertigstellung der vorläufiger Annahmekriterien und Präzisierung des Abfallinventars.

Zu AP2:

Wiederholung der Laborversuche zur Optimierung des Versatzmaterials und Erstellung eines Modells für seine Barrierenwirksamkeit.

Zu AP3:

Konzeptplanung des Einlagerungssystems mit dem Schwerpunkt der sicherheitsrelevanten Komponenten.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

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

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

AP1:

- Versuche zur manuellen Verdichtung von Ton/Sand-Gemischen unterschiedlicher Tongehalte.
- Bestimmung der Gasdurchlässigkeit und des Aufsättigungsverhaltens unterschiedlicher Ton/Sand-Mischungen.

AP2:

- Auswahl eines geeigneten Versuchsstandortes.
- Planung und Auswahl der Messsysteme.

4. Ergebnisse

AP1:

- Die durch manuelle Verdichtung zu erreichende Einbaudichte wurde für Ton/Sand-Mischungen mit einem Tonanteil (Calcigel) von 25 % und 50 % vorgenommen, wobei sich eine Abhängigkeit vom Tongehalt zeigte. Die Einbaudichte der Mischung mit 25 % Ton lag in der Größenordnung von 1,63 g/cm³ und 1,7 g/cm³, die der Mischung mit 50 % Ton ergaben Werte um 1,55 g/cm³.
- Die Gaspermeabilitäten wurden für Ton-Sand-Mischungen mit Tongehalten von 35 %, 50 % und 70 % bestimmt und wiesen ebenfalls eine Abhängigkeit vom Tongehalt auf. Es zeigte sich, dass die Gaspermeabilitäten mit steigendem Tongehalt geringer wurden. Die ermittelten Gaspermeabilitäten nahmen von ca. 10-13 m² bei 35 % Ton bis auf 10-15 m² für einen Tongehalt von 70 % ab. Die Mischung mit 50 % Ton ergab eine Gaspermeabilität von ca. 7,5 · 10-14 m².
- Die Versuche zum Aufsättigungsverhalten dauern zur Zeit noch an.

AP2:

- Die ersten Kontakte zur Anmietung einer geeigneten Halle wurden aufgenommen.
- Geeignete Messsensoren für die Technikumsversuche wurden anhand der zu erwartenden Versuchsrandbedingungen ausgewählt.

5. Geplante Weiterarbeiten

AP1:

- Weiterführung der Aufsättigungsversuche.
- Bestimmung der Wasserpermeabilitäten.
- Ermittlung der Gasdurchbruchdrucks.
- Bestimmung des Quelldrucks.

AP2:

- Beschaffung der Messsensoren.
- Anmietung einer Halle und Aufbau der Versuchseinrichtung.
- Versuche zur Einbautechnik in großen Plexiglasrohren.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

2.2 C-Vorhaben

Zuwendungsempfänger: TU-BAF, Akademiestr. 6, 09596 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 C 0547
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Grundkonzepts für langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke im Salinar -Bau und Test eines Versuchsverschlussbauwerkes unter realen Bedingungen-		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.1997 bis 31.03.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 31.03.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 3.253.760,80 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Sitz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

AP 10: Modellrechnungen zur Durch- und Umströmung des Dichteelementes unter Berücksichtigung der Zweiphasenströmungsprozesse.
Fertigstellung des Abschlussberichtes.

4. Ergebnisse

AP 10: Ein Vergleich der gemessenen und berechneten Sättigungsverteilung zeigt, dass im Modell das Vorlaufen der Sättigungsfront über den Dichteelementquerschnitt und im Bereich der Kontaktfuge gut abgebildet werden kann.

5. Geplante Weiterarbeiten

keine

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Sitz, P.; Koch, G.; Gruner, M.: Results from the large scale in situ drift sealing experiment in the salt mine Sondershausen. International Meeting "Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement" – Reims, December 9-12, 2002.

Gruner, M.; Sitz, P.: Bau und Test des Verschlussbauwerkes Sondershausen – Versuchsablauf und Ergebnisse des Rückbaus. Fachgespräch Verschlussbauwerke, 17./18. März 2003, Freiberg.

Sitz, P.; Gruner, M.: Schlussfolgerungen aus den In-situ-Versuchen in Sondershausen und Salzdettfurth, Erkenntnisse zu Dichteelementen für Strecken- und Schachtverschlüsse. Fachgespräch Verschlussbauwerke, 17./18. März 2003, Freiberg.

Sitz, P.; Gruner, M.; Rumphorst, K.: Verschlussbauwerke für Endlager und Untertagedepotien. Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 C 0628
Vorhabensbezeichnung: Modellrechnungen zur großräumigen dichteabhängigen Grundwasserbewegung	
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 31.03.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 31.03.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.034.190,60 EUR	Projektleiter: Frau Dipl.-Math. Schneider

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Fertigstellung des in den Jahren 1995-1998 unter BMBF-Förderung entwickelten Programmpaketes d³f steht ein Werkzeug zur Verfügung, das es erlaubt, Grundwasserbewegungen unter Berücksichtigung der Salinität in großräumigen, hydrogeologisch komplexen Gebieten über lange Zeiträume zu berechnen.

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist in folgende Arbeitsschritte unterteilt:

AS1: Deckgebirge über norddeutschen und ausländischen Salzstöcken

AS2: Ausländische Endlagerstandorte

AS3: Salzwasserintrusion in Küstengebieten, Brunnen in Küstengebieten

AS4: Süßwasserlinsen unter Inseln

AS5: Dokumentation

AS6: Wartung und Pflege des Programms d³f

3. Durchgeführte Arbeiten

AS1: Zum Modell des Deckgebirges über dem Salzstock Höfer wurden serielle und parallele Rechnungen durchgeführt.

AS4: Serielle und parallele Rechnungen zum Modell der Insel Norderney wurden durchgeführt.

Die Arbeit am Abschlussbericht wurde fortgesetzt.

4. Ergebnisse

Die Arbeiten am Abschlussbericht stehen kurz vor dem Abschluss.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Fertigstellung des Abschlussberichtes.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0669	
Vorhabensbezeichnung: Hydraulische Kennwerte von tonhaltigen Mineralgemischen zum Verschluss von 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 31.03.2003		Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 31.03.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 943.058,17 EUR		Projektleiter: Dr. Miehe	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

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

4. Ergebnisse

- Die im KENTON-Projekt gewonnenen neuen Ergebnisse bzgl. der Untersuchungen zum Zweiphasenflussverhalten von Sand-Ton-Gemischen haben den Bandbereich möglicher Relative-Permeabilitäts-Sättigungs-Beziehungen und Kapillardruck-Sättigungs-Beziehungen bei der Anpassung an die Messdaten deutlich verringert.
- Die Normierung der Sättigung und der Gaspermeabilität zeigt ein Zweiphasenflussverhalten auf, das hinsichtlich der relativen Permeabilität unabhängig vom Tonanteil der Ton-Sand-Mischung ist. Dies schränkt die Freiheiten bei der Parameterwahl erheblich ein. Auch die auf die effektive Sättigung normierten Kapillardruckverläufe zeigen eine prinzipielle Ähnlichkeit. Die Anpassung der Zustandsgleichungen nach van Genuchten an die Messwerte ist zufrieden stellend gelungen.
- Die Messungen an grobkörnigen Splitt-Ton-Mischungen mit einem Mischungsverhältnis von 75/25 haben gezeigt, dass sich auch dieses grobkörnigere Material sowohl beim Einphasenfluss als auch beim Zweiphasenfluss grundsätzlich ähnlich verhält wie die kompaktierten Sand-Ton-Proben mit 25 % Tonanteil. Die einphasigen Gaspermeabilitäten entsprachen denen der Sand-Ton-Proben, wohingegen die einphasigen Laugen- bzw. Wasserpermeabilitäten um ca. eine halbe bis eine Größenordnung höher ausfielen als die der Sand-Ton-Proben.
- Bei den Entsättigungsversuchen bei den mit Wasser gesättigten Proben war nach Erreichen des Gasdurchbruchdrucks ein starker Anstieg des Gasflusses festzustellen, der zu keinem stationären Fließzustand führte. Bei den mit Q-Lauge (IP 21) gesättigten Proben zeigte sich nach dem Gasdurchbruch eine Stagnation des Gasflusses. Eine Erhöhung des Drucks führte zunächst zu einem Anstieg der Gasfließrate. Anschließend stellte sich wieder eine Stagnation des Gasflusses ein. Diese Beobachtung kann, wie bei den Messungen an Sand-Ton-Proben mit Q-Lauge, durch eine Ausfällung von Gips im Porenraum gedeutet werden. Aufgrund der nicht eindeutigen Versuchsabläufe bei der Entsättigung der Proben wurde auf eine modellmäßige Auswertung z. B. nach van Genuchten bzw. Corey-Brooks verzichtet.
- Die Ergebnisse sind im Abschlussbericht dokumentiert.

5. Geplante Weiterarbeiten

Das Vorhaben wurde beendet.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

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 31.12.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Fortsetzung von Versuchen zur Bestimmung des Einflusses der biologischen Aktivität auf die Gasentwicklung.

Vorbereitung der Versuche zur Gasfreisetzung und zur Wärmeentwicklung bei der Umsetzung von Abfällen mit salinaren Lösungen im halbtechnischen Maßstab (Reaktionsmasse etwa 10 -20 kg): Herstellung und Prüfung der Versuchseinrichtung, Beschaffung von großen Abfallproben, Messung der Gasentwicklung an diesen Abfallproben im Kleinmaßstab.

4. Ergebnisse

Bei Abfall/Lösungsgemischen, die zuvor eine hohe CO₂- oder Methanproduktion aufgewiesen hatten, wurde der Einfluss eines Biozids auf die Gasentwicklung untersucht. Bei den untersuchten Proben konnte eine geringe Abnahme der Gasentwicklung beobachtet werden. Dass es sich hierbei wahrscheinlich um einen Effekt mit mikrobiellem Hintergrund handelt, zeigten Experimente, bei denen Nährstoffe (Nitrat oder Phosphat) zugesetzt wurden. Hierdurch konnte die Gasproduktion auf das Doppelte bis Dreifache gesteigert werden.

5. Geplante Weiterarbeiten

Beginn der Versuche zur Gasfreisetzung und zur Wärmeentwicklung bei der Umsetzung von Abfällen mit salinaren Lösungen im halbtechnischen Maßstab.

Untersuchung der Wärmeentwicklung bei Abfall/Lösungsreaktionen.

Untersuchung der Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit von Abfall /Lösungsgemischen.

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

keine

7. 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Synthese und Löslichkeitsversuche an ausgewählten basischen Phasen der Elemente Blei, Zink und Cadmium in basischen Lösungen. Löslichkeitsversuche an den Systemen

Pb-K-Cl-OH-H₂O, Pb-K-SO₄-OH-H₂O, Pb-Na-Cl-OH-H₂O, Pb-Na-SO₄-OH-H₂O.

Cd-K-Cl-OH-H₂O, Cd-K-SO₄-OH-H₂O, Cd-Na-Cl-OH-H₂O, Cd-Na-SO₄-OH-H₂O.

Zn-K-Cl-OH-H₂O, Zn-K-SO₄-OH-H₂O, Zn-Na-Cl-OH-H₂O, Zn-Na-SO₄-OH-H₂O

4. Ergebnisse

Die Auswertung der Löslichkeitsversuche in den Systemen CdSO₄-CaSO₄-H₂O und ZnSO₄-CaSO₄-H₂O zeigt, dass sich diese Systeme ähnlich wie das analoge System MgSO₄-CaSO₄-H₂O verhalten und außer Gips keine anderen Bodenkörper auftreten.

Die Auswertung der Ramanspektren wie auch der isopiestic Messungen ist wegen der verspäteten bzw. noch nicht eingegangenen Berichte der Unterauftragnehmer noch nicht abgeschlossen.

5. Geplante Weiterarbeiten

Ergänzende ramanspektroskopische Untersuchungen zur Chlorokomplexbildung von Cadmium und Zink. Faktoranalytische Trennung der Ramanspektren zur Ermittlung der Speziationsverteilung von Zink und Cadmium in chloridhaltigen Lösungen.

Beendigung der Untersuchung der Löslichkeit schwerlöslicher basischer Zink-, Cadmium- und Bleiverbindungen. Untersuchung der Rückhaltung von Blei Zink und Cadmium im halbertechnischen Maßstab.

Untersuchung des Einflusses der Chloridkonzentration auf die Löslichkeit von Zn/Pb/Cd-Carbonaten.

Nach Eingang der Messdaten aus Unteraufträgen: Erstellung eines vollständigen Parametersatzes für Zn, Cd, Pb in sauren Lösungen, Qualitätsgesicherte Dokumentation der erhaltenen Parameter.

Erstellung eines Parametersatzes für Phosphat.

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

keine

7. 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 30.09.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

- Durchführung der zur Ermittlung der Stoffparameter erforderlichen Versuche, Auswertung und Darstellung der Versuchsergebnisse
- Ableitung eines kompletten Parametersatzes für das Stoffmodell Hou/Lux
- Anwendung des Stoffmodellansatzes „Verheilung“ auf ein bekanntes in- situ- Bauwerk, Berechnung und Darstellung der Ergebnisse

Wesentliches Merkmal eines Stoffmodells auf der Basis der Continuum- Damage- Mechanik (CDM) ist die Beschreibung der vor einem Materialversagen einsetzenden Gefügeschädigung. Durch die Erfassung der bei Überschreitung der Dauerfestigkeit einsetzenden Gefügeschädigung kann die zeitabhängige Tragfähigkeit bei Beanspruchungen zwischen Dauerfestigkeit und der Bruchfestigkeit quantifiziert werden. Der bei deviatorischer Entlastung eines geschädigten Materials einsetzende rekursive Prozess der Verheilung ist wesentlicher Forschungsgegenstand des Vorhabens. Ein aus der Literatur bekannter, durch eigene Arbeiten überprüfter, validierter und im Grundsatz verbesserter Ansatz wurde für die Implementierung eines Verheilungsterms in das Stoffmodell Hou/Lux erarbeitet und ist mittlerweile vollständig in das Programmpaket MISES3 integriert.

Weiterhin wurden gemäß des erarbeiteten Versuchsprogramms Versuche durchgeführt, um die erforderlichen Stoffkennwerte zu ermitteln, die für die rechnerische Berücksichtigung der Verheilung im Berechnungsprogramm MISES3 notwendig sind.

Neben der im Rahmen der Schädigungsmechanik bereits standardisierten Messung der Volumendilatanz sind für die messtechnische Quantifizierung der Verheilung versuchsbegleitend erforderliche Ultraschall- und Permeabilitätsmessungen durchgeführt worden.

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 (Paralldamm).
- (b) Verheilung der Auflockerungszone einer mit einem Tübbing ausgebauten Strecke.

4. Ergebnisse

- Die Implementierung des Verheilungsansatzes in MISES3 unter Windows ist abgeschlossen.
- Auswertung von Versuchen und Überprüfung der Ergebnisse auf Plausibilität anhand ausgewählter aus der Literatur bekannter Ergebnisse.

5. Geplante Weiterarbeiten

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

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

keine

7. 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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, Konzeption und Entwicklung der Messsysteme für Zeit- und Frequenzbereich, Versuche zur Detektion von Feuchtefronten in Bentonit unter dem Einfluss von Druck, Wasser und salinärer Umgebung sowie der Test der Sensoren in halbtechnischen, realitätsnahen Versuchen. Mit Feldsimulationen und Prognosemodellen sollen Aussagen zum Langzeitverhalten unterstützt werden. Mit dem Messverfahren soll die Dichtheit von Abschlussbauwerken kontrolliert oder das Fortschreiten von Feuchtefronten signalisiert werden. Der Einsatz kann auch als implantierte Sensoren im Bauwesen erfolgen. Neue Entwicklungen sollen als Patente eingereicht und über Lizenzverträge interessierten Unternehmen zur Verfügung stehen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

AP5: An Proben aus Sand-Bentonit-Gemischen (Calcigel, MX80) mit Wasser und hochkonz. NaCl-Lauge wurden Kalibrierungen der TDR-Kabelsensoren und von Oberflächensensoren auf Basis von Mikrowellenresonatoren (E- und H-Feldresonatoren) und Messungen der komplexen Dielektrizitätskonstanten im Frequenzbereich von 10 MHz bis 10 GHz zur TDR-Simulation mit HFSS (High Frequency Structure Simulator) durchgeführt.

AP6: Bestimmen des Feuchteverlaufes in einem binärem Gemisch (Calcigelpellets und -granulat) mit NaCl-Lauge (Steinsalz 250 g/l, $\rho = 1,15 \text{ g/cm}^3$) als Fluid mit einer TDR-Messleitung im Bentonit-Hochdruckversuchsstand der MFPA Weimar über 180 Tage.

AP7: Durchführung halbtechnischer Versuche (Durchmesser Druckrohr: 325 mm, Länge Druckrohr: 820 mm) an der TU Bergakademie Freiberg mit folgenden Materialproben und Fluiden: Binäres Gemisch (Cal-

cigelpellets und -granulat) und Wasser, MX80-Granulat und Wasser, MX80-Granulat und NaCl-Lauge (Steinsalz 250 g/l, $\rho = 1,15 \text{ g/cm}^3$), MX80-Formsteine und NaCl-Lauge (Steinsalz 250 g/l, $\rho = 1,15 \text{ g/cm}^3$).

AP8: Weiterführung der Aufsättigungsmodellierung im Bentonit. Entwicklung eines Modells unter Berücksichtigung von Mehrphasenströmung und Quellung sowie der schrittweisen Simulation des Strömungsvorgangs entsprechend der Messergebnisse aus den halbtechnischen Versuchen (Kalibrierung des Modells am Versuch).

4. Ergebnisse

AP5: Die labormäßige Kalibrierung des TDR-Signals als $f(\text{Wassergehalt})$ ist quantitativ reproduzierbar. Für eine Kalibrierung unter Berücksichtigung der Dichte muss eine entspr. Vorrichtung entwickelt werden. Die Kalibrierung der Mikrowellen-Oberflächenresonatoren (2,45-GHz-Resonanzfrequenz) ist reproduzierbar. Die Messwertstreuung wg. hoher Ionenleitfähigkeit ist wesentlich geringer als bei Sensoren, die im MHz-Bereich arbeiten. Probleme bereitet die Ankopplung der Sensoren an die Proben unter realitätsnahen Bedingungen (raue Oberflächen). Die komplexe Dielektrizitätskonstante (Real- und Imaginärteil) der feuchten Bentonitprobe muss in einem breiteren Frequenzbereich (ca. 100 kHz bis 20 GHz) als bisher gemessen werden (Problem ist Ankopplung).

AP6: Feuchteverteilung und Dichteunterschiede längs der TDR-Messleitung sind erfassbar; eine Quantifizierung beider Größen sowie ihre Ortsauflösung konnten noch nicht realisiert werden. Die Unterscheidung von Feuchte und Dichte sowie die Rekonstruktion der Ortsauflösung kann anhand der Inversion des TDR-Messsignals erfolgen. Dazu ist es erforderlich, ein Modell zu entwickeln, dass nicht nur die Impulslaufzeit, sondern den vollen Informationsgehalt des Reflexionssignals berücksichtigt.

AP7: Aus dem TDR-Messsignal kann der Verlauf der Feuchtefront qualitativ ortsaufgelöst detektiert werden. Rückbau der Versuche mit gravimetrischer Feuchtegehaltsbestimmung bestätigt die TDR-Messergebnisse. MX80-Granulat mit NaCl-Lösung zeigte keine Dichtwirkung. Das Fluid durchfeuchtet drucklos das gesamte Material. Wasser führt bei gleicher Einbaudichte des Materials zu Nachverdichtung und Druckaufbau. Der Kabelsensor in der MX80-Formsteindichtung erzeugt eine durchgehende Fuge. Der Fluidvorlauf ist durch zusätzliche Fugenbehandlung zu unterbinden. Die mechanische Stabilität des Kabelsensors konnte im Druckbereich bis 100 bar nachgewiesen werden.

AP8: Die Sensitivitätsanalyse identifiziert als dominierende Parameter: Haftwassersättigung, Kapillardruck-Sättigungsfunktion, abs. Permeabilität, abs. Permeabilität in Abhängigkeit vom Quellen, eff. Porosität, empirische Funktion zur Beschreibung der relativen Permeabilität. Die Kalibrierung des Modells anhand der Messergebnisse nach Rückbau der Versuche zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen Prognose und Modellrechnung.

5. Geplante Weiterarbeiten

AP6: Grenzschnittuntersuchungen Bentonit-Kabelsensor, Auswertung und Vergleich der Wasser und NaCl-Lauge-Versuche, Modellansatz zur Inversion des TDR-Messsignals zur Quantifizierung und Ortsauflösung von Feuchte- und Dichteverteilung im Bentonitdichtelement.

AP7: Beenden der halbtechnischen Versuche, Abgleich TDR-Auswertung mit hydraulischer Modellierung.

AP8: Kalibrierung räumlich variabler Feuchteausbreitungen, Prüfung der Kalibrierung von zeit- und ortsabhängigen Feuchtemessungen, Modellrechnungen und Rückbauergebnisse.

AP9: Literatur- und Patentrecherche, Leistungsparameter, Entwicklungskonzept, Abschlussbericht.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Kupfer, K., Trinks, E.: MEASUREMENT METHOD FOR LONG-TERM MONITORING OF GEOTECHNICAL SEALED BARRIERS IN SALT MINES. Conference Proceedings 5th International Conference on "Electromagnetic Wave Interaction with Water und Moist Substances", Rotorua, New Zealand, 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Nach dem Abschluss der Arbeiten an dem zweiten halbtechnischen Versuch an der Bergakademie (TU) Freiberg wurden die gewonnenen Daten ausgewertet und interpretiert. Die zahlenmäßige Höhe des Wassergehaltes konnte von den Messdaten nicht abgeleitet werden.

4. Ergebnisse

Für die Bestimmung des Wassergehaltes in Bentonit aus den Laufzeitdaten der TDR-Messung braucht man eine Kalibration der Sensorkabel auf das umgebende Material und dessen Feuchte. Es gibt zwei Möglichkeiten, eine solche Kalibration durchzuführen. Man nimmt erstens die Laufzeitdaten auf und setzt sie in Zusammenhang zur gemessenen Dielektrizitätszahl (DK). Dazu sind mit dem betreffenden Material in allen auftretbaren Konfigurationen (variierende Dichte im Volumen, Zusammensetzung des Materials (binäres Gemisch aus Pellets und Granulat), mineralogische Änderungen (Quellen von Bentonit, Ionenaustausch)) verschiedene Feuchtereihen zu bilden. Daraus wird eine Kalibrationskurve ermittelt. Aufgrund der vielfältigen Parameter ist eine solche Kalibration äußerst aufwändig und der Wassergehalt durch die nicht bekannte Situation im Versuch selbst nur mit sehr mäßiger Genauigkeit zu erreichen. Eine zweite Variante sieht nur wenige Messungen mit verschiedener Feuchte vor und bewertet diese Punkte mit empirisch ermittelten Näherungsfunktionen (Mischungsregeln). Dies funktioniert mit „normalen“ Materialien wie Sand ganz gut, bei Bentonit dagegen, besonders in Verbindung mit der salinaren Lösung, ist auch dieses Verfahren kaum anwendbar. Durch die hohe elektrische Leitfähigkeit muss der Imaginärteil der komplexen DK mit berücksichtigt werden. Das hat zur Folge, dass die Mischungsregeln in dem interessierenden Feuchtebereich mehrdeutig sein können. Andere, einfachere Mischungsregeln lassen sich für die Kalibration der Sensorkabel in Bentonit nicht anwenden, da der Fehler in den ermittelten Feuchtwerten zu groß wird.

Im Anhang sind fünf der bekanntesten Mischungsregeln dargestellt und die Abhängigkeit der komplexen Dielektrizitätszahl der Mischung als Funktion des Mischungsverhältnisses beschrieben. Als Parameter sind zwei Materialien verwendet, Material 1 entspricht einem Boden mit dem Realteil der DK von 4 und vier verschiedenen Werten des Imaginärteils (0, 4, 8, 12). Material 2 ist Wasser mit dem Realteil der DK von 80 und drei Werten des Imaginärteils (20, 200, 800). Damit sind verschiedene dielektrischen Verlustfaktoren des Wassers beschrieben, wobei ein Wert von 800 für den Imaginärteil einer starken Salzlösung entspricht.

Den Grafiken ist zu entnehmen, dass bei höheren dielektrischen Verlusten im Wasser sich die Ergebnisse für die DK der Mischung zunehmend unterscheiden und insbesondere auch Mehrdeutigkeiten auftreten können. Die Fehler bei der Feuchtebestimmung können aufgrund der nicht genau bekannten Zustände der Bentonitmischung (trocken, feucht, gesättigt, aufgelöste Struktur der binären Mischung) in der Versuchsanordnung beträchtlich sein. Um das Problem der ungenauen Bestimmung des Wassergehaltes einzuschränken, sind weitere Arbeiten zu der Kalibration der Sensorkabel nötig. Kalibrierkurven zu verschiedenen Materialzuständen können zumindest eine bessere Näherung der zahlenmäßigen Bestimmung des Wassergehaltes ermöglichen. Das ist mit den in den beiden durchgeführten halbtechnischen Versuchen erhaltenen Ergebnissen nicht möglich. Ziel des Projektes war es, eine Methode zur Lokalisierung von Feuchtefronten in Bentonit zu entwickeln und dies ist in den Versuchen an der Bergakademie in Freiberg unter Verwendung eines Time-Domain-Reflectometry- (TDR) Verfahrens und mit im Forschungszentrum Karlsruhe entwickelten Sensorkabel gelungen.

5. Geplante Weiterarbeiten

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

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

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

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

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 31.09.2003		Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003
Gesamtkosten des Vorhabens: 493.785,04 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

Untersuchungsprogramm entsprechend AP 1 – 7:

- Entwicklung eines analytischen Modells zur Auswertung der Druckreaktionen der Beobachtungsbohrung bei Interferenztesten.
- Weiterentwicklung der Software zur Auswertung von In-situ-Messungen zum zeitabhängigen Permeabilitätsverhalten um die Bohrungen während der Messung.
- Durchführung von Interferenzmessungen am Standort mit langer Standzeit und CO₂-Beladung.
- Bestimmung der Permeabilität des Salzgestein in Abhängigkeit vom Abstand zum Stoß.
- Weitere Versuche im Steinsalz und Sylvinit mit Stickstoff als Prüfmedium.
- Auswertung der Messungen zur Spannungssondierung mit der Schlitzmethode zur Bestimmung gebirgsmechanischer Eigenschaften des Sylvinites.
- Teilberichterstellung der Untersuchungen der Spannungssondierungen mit der Schlitzsonde.

- Teilberichterstellung zu Laborversuchen bezüglich Permeabilität und Relaxation an Bohrkernen.
- Interpretation von in-situ Messungen mit zeitabhängiger Permeabilität im Packerbereich der Testausrüstung.
- Demobilisierung des Messortes in der Grube Hattorf und Mobilisierung für die Grube Teutschenthal.

4. Ergebnisse

- Die Auswertung erstmals durchgeführten Interferenzmessungen zeigte in ca. 1 m Abstand vom Stoß eine Porosität kleiner als 0,3 %.
- Die ermittelten Messwerte zeigen, dass die Permeabilität im Steinsalz in 2 m Entfernung vom Stoß und bei Sylvenit mit CO₂-Beladung in ca. 5m Entfernung für praktische Verhältnisse Null ist. Zufluss von natürlichem CO₂ bei den weiteren Versuchen in älteren Standorten konnte nicht festgestellt werden.
- Permeabilitätsmessungen zeigen, dass die Permeabilität in der Auflockerungszone um die Bohrung im Packerbereich bei längeren Packerstandzeiten zeitabhängig d.h. spannungsabhängig ist. Diese Zeitabhängigkeit muss bei der Interpretation berücksichtigt werden.
- Eine Langzeitmessung im Steinsalz zeigte bei mehr als 5 m Entfernung vom Stoß nach 195 Tagen Messzeit keinen Druckabfall, sodass eine Permeabilität $< 1 \cdot 10^{-25} \text{ m}^2$ identifiziert werden konnte.
- Die mit Labormessungen und mit der Schlitzsonde gemessenen Beträge und Richtungen der Hauptspannungen sind typisch für Konturbereiche im Salinargestein. Eine CO₂-Belastung des Salzgesteins verursacht jedoch erhöhte Messwertstreuungen.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Fertigstellung der weiterentwickelten Software zum zeitabhängigen Permeabilitätsverhalten und zu Identifikation unterschiedlicher Permeabilitätsregionen.
- In-situ Messungen zur Ermittlung der Permeabilität im Zentimeterabstand vom Stoss in Testbohrungen und deren Auswertung und Interpretation.
- Zusammenfassende Interpretation der durchgeführten in-situ Messungen in Kombination mit gesteinsmechanischen Laboruntersuchungen und Spannungssondierungen mit der Schlitzsonde.
- Erstellung des Abschlussberichtes zum Forschungsvorhaben.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Einreichung einer Veröffentlichung für CLUSTER conference workshop: „Impact of the EDZ on radioactive waste geological repositories“, Luxemburg 3-5 Nov. 2003. Titel: „A field test to measure low permeabilities of host and excavation disturbed rocks“.

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 31.12.2003		Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Die Flutung von zwei 15-m-lange mit Magnesiumsulfat, wasserfrei und Sylvin besetzten Großbohrlöcher (GB-1 und GB-2) mit NaCl- bzw. $MgCl_2$ -gesättigter Lauge wurde nach Einrichtung von Widerlagern fortgesetzt. EQ-3/6-Modellrechnungen zur Optimierung der Materialmischungen. Ein drittes instrumentiertes Großbohrloch (GB-3) wurde für die Flutung mit Q-Laugen vorbereitet.

4. Ergebnisse

Im System von GB-1 ($MgSO_4$, wasserfrei / KCl) trat bei einem Injektionsdruck von $\sim 1,0$ MPa Lauge über bevorzugte Wegsamkeiten (Fließkanäle) aus dem versetzten Bohrloch aus. Nach der Errichtung eines Widerlagers ($MgSO_4$, wasserfrei, das mit $MgCl_2$ -Lösung geflutet wurde und versteiften Metallsegmenten) steigt der Injektionsdruck, ohne dass Lösung aus dem Bohrloch austritt. Parallel zum Injektionsdruck stieg der axiale Kristallisationsdruck des weiter reagierenden Materials vor dem Widerlager von 0,6 MPa auf 4,2 MPa. Derzeit liegt der Injektionsdruck über 2.5 MPa.

Im System GB-2 ($MgSO_4$, wasserfrei ohne Zusatz) trat bei einem Injektionsdruck von 2,6 MPa Lauge ebenfalls über bevorzugte Wegsamkeiten (Fließkanäle) aus dem versetzten Bohrloch aus. Das erforderliche Widerlager in GB-2 wurde aus Salzformsteinen und Magnesia gemauert. Nach Wiederaufnahme der Lösungsinjektion steht der Injektionsdruck derzeit bei 1.0 MPa, ohne dass Lösung in das System zu injizieren ist.

Aufgrund von EQ-3/6-Rechnungen wurden Handhabungsversuche mit Glaubersalz und Bittersalz als Materialzusätze zum $MgSO_4$, wasserfrei durchgeführt, die eine Steuerung der Reaktionstemperaturen ermöglichen würden. Die Ergebnisse zeigen, dass auch bei spontaner Flutung (hohe Laugenzutrittsraten) die Reaktionstemperatur deutlich unter $60^\circ C$ liegt.

Bei dem Besetzen vom System GB-3 mit selbstverheilendem Salzversatz wurden die Ergebnisse von GB-1 und GB-2 berücksichtigt. Das System GB-3 besteht aus drei Abschnitten mit unterschiedlichen Materialmischungen und einem Widerlager aus verfestigtem $MgSO_4$.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung bzw. Abschluss der Upscaling - Versuche in Großbohrlöchern
- Mechanische Modellierung von Kristallisationsdrücken
- Ermittlung thermischer Parameter an ausreagiertem SVV-Material
- Nachbeprobung der Großbohrlöcher GB-1 und GB-2

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Herbert, H.-J. (2003): Bentonitdichtungen und Selbstverheilender Versatz.- PtWT+E Fachgespräch Verschlussbauwerke 1993 bis 2003, Freiberg 17./18. März 2003.

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

- Ein vollständiges Br-Profil des Kerns wurde aufgenommen
- Die Gase auf den Korngrenzen wurden analysiert
- Eindunstungsexperimente zur Fraktionierung von Methan im Meerwasser wurden durchgeführt
- Erste Untersuchungen an Einschlüssen im Salz wurden vorgenommen

4. Ergebnisse

- Es handelt sich um eine statische Eindunstung und eine ungestörte Lagerung
- Es kann eine Fraktionierung des Methans vom Basissalz bis zum Kalisalzflöz festgestellt werden
- Im Experiment fraktioniert das Methan bei der Eindunstung, die schwereren Isotope des C und H verbleiben in der Lösung
- Bei dem Methan in den untersuchten Evaporiten handelt es sich u. U. um Gase, die im Meerwasser gelöst waren, bei dessen Eindunstung fraktionierten und nach der Sedimentation und dem Einschluss der Lösungen im Gestein freigesetzt wurden. Sie wären somit seit 250 Ma im Gestein gespeichert.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Abschließende analytische Arbeiten am ersten Bohrkern
- Durchführung der zweiten Bohrung in Braunschweig-Lüneburg

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

- Joanna Potter and Michael G. Siemann: Determination of the nature of gaseous inclusions in Late Permian carnallite salts from the Allertal salt structure, North Germany, by means of laser-Raman XYZ mapping and stable isotopic analysis by GC-irMS; PACROFI VIII, Halifax, July 22-25, 2002, pp 82-83
- Potter, J., Siemann, M. G., Tsypukov, M.: A stable isotope and inclusion study of gases in Zechstein evaporite deposits, N. E. Germany: implications for understanding the behaviour and origin of gases in evaporites, Acta Mineralogica-Petrographica, Vol. 2, Szeged, 2003, pp 163-164, ECROFI XVII Budapest June 5-7
- Joanna Potter* and Michael G. Siemann: A new method for determining $\delta^{13}\text{C}$ and δD simultaneously for CH_4 by GC/CF-irMS, Canadian CF-irMS workshop X, Winnipeg, August 10-13, 2003

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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 Kluffzonen, Laugentaschen, Feuchtezonen und Schichtgrenzen sowie ihre möglichst genaue Vermessung und Bewertung sind wichtige Voraussetzungen für detaillierte Planungen und qualifizierte Langzeitsicherheitsnachweise von Endlagern und Untertagedeponien.

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Arbeitspunkt 1:* Die Charakterisierung des Referenzmessortes auf der 480 m-Sohle in der Grube Sigmundshall wurde insbesondere im Rahmen einer Projektvorstellung bei der K+S AG am 29.01.03 in Kassel mit Objektgeologen fortgeführt.
- Arbeitspunkt 2:* Die im Labor optimierte Messkonfiguration wurde bei einem zweiten Messeinsatz in der Grube Sigmundshall an die spezifische Aufgabe angepasst.
- Arbeitspunkt 3-4:* Der zweite Messeinsatz am Referenzmessort im Werk Sigmundshall der Kali und Salz GmbH erfolgte vom 13.02.03 bis 16.02.03. Aufgrund offener Fragen zu dem in HB 311 erbohrten Laugenvorkommen wurde zwischen Profilmeter -60 m und +60 m gemessen.
- Arbeitspunkt 5:* Es erfolgten Modellrechnungen zur Aufstellungsgeometrie und zur Ankopplung der Sender und Empfänger.
- Arbeitspunkt 6-7:* Die Rohdaten des zweiten Messeinsatzes wurden mit neuen Interpretationsroutinen bearbeitet in der Folge mit den Ergebnissen der Projektpartner verglichen.
- Arbeitspunkt 8:* Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

4. Ergebnisse

- Arbeitspunkt 1:* Am Referenzmessort Sigmundshall zeichnen sich aufgrund der komplizierten Lagerungsverhältnisse unterschiedliche Problemzonen im geophysikalischen Messbild ab.
- Arbeitspunkt 2:* Die weiterentwickelte Sende-Empfangstechnik hat sich bei den In-situ-Untersuchungen bewährt.
- Arbeitspunkt 3-4:* Durch die Weiterentwicklung von Hard- und Software konnten die komplizierten Lagerungsverhältnisse in Sigmundshall hochauflösend erfasst und die Problemzonen geophysikalisch parametrisiert 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:* Der Vergleich der Ergebnisse des Datenmaterials des zweiten Messeinsatzes mit denen der Projektpartner liefert wesentliche Beiträge bei der Erarbeitung eines Strukturmodells für den Referenzmessort Sigmundshall.

5. Geplante Weiterarbeiten

In einer abschließenden Etappe werden die Einzelergebnisse der unterschiedlichen geophysikalischen Verfahren und der Stoßkartierung zu einem Strukturmodell zusammengeführt und ein Abschlussbericht mit Handlungsempfehlungen für weiterführende Arbeiten erstellt.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

A. Just et al.: Geophysical Investigation for the Evaluation of the long-time Safety of Repositories and Underground Disposals in deep geological Formations, Poster auf der EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nizza, Frankreich, 06. - 11.4.2003.

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 30.09.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Am Referenzstandort (Bergwerk in Niedersachsen) wurde zur Klärung der Frage einer aus Radarmessungen vermuteten starken Sohldurchfeuchtung im Bereich der Horizontalbohrung ein zusätzliches, 62m langes Geoelektrik-Profil auf der Sohle in Dipol-Dipol-Anordnung vermessen. Gleichzeitig wurden aus dem Stoß weitere Gesteinsproben für Laboruntersuchungen entnommen. Anhand von 3D-Modellrechnungen mit einem in Leipzig entwickelten Finite-Elemente-Programm (GGFEM3D von C. Rücker) wurden Geometriefaktoren für ein quaderförmiges Streckenmodell unter Berücksichtigung des Streckenabzweigs berechnet, die Messdaten des 318m langen Stoßprofils hiermit korrigiert und nochmals zweidimensional invertiert. Die Modellierungen mit dem Finite-Elemente-Programm FEMLAB wurden fortgesetzt.

Weitere Labormessungen des Wassergehaltes sowie simultane Wassergehalts- und Leitfähigkeitsmessungen an Proben aus dem Stoß wurden durchgeführt.

Die seismischen Daten wurden mit besonderem Hinblick auf die vertikal polarisierte Scherwelle einer erneuten Untersuchung unterzogen.

Nach Beendigung aller geophysikalischen Messungen am Referenzstandort wurde der Messstoß nach Säuberung geologisch kartiert und fotografiert.

4. Ergebnisse

Das Widerstands-Tiefen-Modell der Sohle zeigt ein starkes, etwa 20m breites, lokales Minimum im Bereich der Bohrung, das wahrscheinlich mit der Leitfähigkeitsanomalie im Stoß zusammenhängt, aber wesentlich geringere Widerstände um 100 Ωm aufweist.

Die Labormessungen ergaben insgesamt geringe Wassergehalte um 0.1 bis 1 mg/cm^3 , einzelne Proben aus dem Profilbereich -60m bis $+30\text{m}$ weisen wesentlich höhere Werte auf. Die Messungen des spezifischen elektrischen Widerstandes an Mini-Bohrkernen (Länge 2 cm, \varnothing 1 cm) ergaben Widerstände von 10^3 bis $10^7 \Omega\text{m}$.

Die 2D-Inversion unter Berücksichtigung der mit 3D Finiten Elementen berechneten Geometriefaktoren weist infolge der großen Dynamik der Widerstandswerte keine signifikanten Unterschiede zum ursprünglichen Inversionsergebnis auf, das ohne Berücksichtigung der Streckengeometrie berechnet wurde. Modellrechnungen zum Einfluss einer durchfeuchteten Sohle und einer verrohrten Horizontalbohrung sind aufgrund von in Einspeisungsnähe nicht zu vernachlässigenden Diskretisierungsfehlern bisher nur mit Einschränkungen quantitativ zu interpretieren.

Die erneute Bearbeitung der seismischen Daten (Auswertung der SV-Welle) lässt die Interpretation einer Schichtgrenze Steinsalz - Anhydrit in einem Tiefenbereich von 40m bis 50m zu. Davor zeichnet sich ein auch durch Radarmessungen gefundenes Hartsalzband als Reflektor ab. Bei zwei Profilverpunkten gibt es Hinweise auf eine Störung im Anhydrit. Aus den Daten können jedoch keine Aussagen zu einem Laugen-vorkommen getroffen werden.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Einbeziehung der geoelektrischen und seismischen Daten in das komplexe Auswerteinstrumentarium, geologische Interpretation zusammen mit den Projektpartnern
- Fortführung der Leitfähigkeits- und Wassergehaltsbestimmungen an den Proben im Labor
- Fortsetzung der numerischen Modellierungen
- Durchführung und Auswertung geoelektrischer Messungen im Forschungsbergwerk Asse
- Erstellung des Abschlussberichtes

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Jacobs, F., Just, A., Krause, Y., Tuch, A., Schuck, A., Schulz, R., Kurz, G., Igel, J., Lindner, U., Schicht, T., Schwandt, A., Kühnicke, H. & Schulze, E. (2003): Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien. – Ext. Abstr. 63. Tagung Dt. Geophys. Ges.: 420-421; Jena.

Krause, Y., Just, A., Tuch, A. (2003): 3D-Modellierung zur Auswertung linienhaft gemessener Untertage-Geoelektrikdaten.- Ext. Abstr. 63. Tagung Dt. Geophys. Ges.: 37-38; Jena..

Rücker, C. (2003): 3D Finite-Elemente Methode zur DC Widerstandsmodellierung.- Ext. Abstr. 63. Tagung Dt. Geophys. Ges.: S.31; Jena..

Just, A., Krause, Y., Jacobs, F., Schuck, A., Schulz, R., Kurz, G., Igel, J., Schicht, T., Lindner, U., Schwandt, A., Kühnicke, H. & Schulze, E. (2003): Geophysical investigation for the evaluation of the long-time safety of repositories and underground disposals in deep geological formations.-EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 06-11 April 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 30.09.2003	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

AP2: Einsatz des EM- und des Georadar-Verfahrens untertage
 AP3: Interpretation und Weiterentwicklung der Modellierung für elektromagnetische Messungen (EM) und für das Georadar

4. Ergebnisse

Als Referenzmessort stehen zwei Sohlen mit einem maximalen Profil von ca. 500 m in einem Bergwerk der K+S AG in Nordwestdeutschland zur Verfügung. Die durch Bohrungen nachgewiesene Laugenstelle liegt in ca. 80 m Entfernung, die Eindringtiefe des elektromagnetischen Reflexionsverfahrens (EMR, Georadar) ist deutlich größer. Der EMR-Datensatz wurde bei zwei Messeinsätzen im Februar und Mai 2003 verfeinert, um eine präzisere Migration der vorliegenden geneigten Reflektoren zu ermöglichen und die Frequenzabhängigkeit des Reflexionskoeffizienten im Bereich der Laugenstelle zu untersuchen. Die Auswertungen zeigen, dass das Radarverfahren eine gute strukturelle Auflösung ermöglicht. Die Laugenstelle zeichnet sich im Radargramm durch einen Bereich mit frequenzabhängigen Reflexionsverhalten ab, was durch vergleichende numerische Modellrechnungen bestätigt wurde.

Bei den Messeinsätzen konnte auch das elektromagnetische Induktionsverfahren (EM) eingesetzt werden. 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 Problemgebietes im Vollraum zu schließen.

5. Geplante Weiterarbeiten

Die geologische Interpretation wird zusammen mit den Projektpartnern und den Bergwerksgeologen im Juli vorgenommen.

Nachdem jetzt der vollständige Datensatz von allen Projektpartnern vorliegt, wird das komplexe Auswertearbeitsinstrumentarium für drei ausgewählte Bereiche umgesetzt. Systematische Modellierungen für das elektromagnetische Induktionsverfahren (EM) und das elektromagnetische Reflexionsverfahren (EMR) werden zum Abschluss gebracht. Die gewonnenen Ergebnisse werden bei der Erstellung von Anomaliekriterien verwendet.

Der Abschlussbericht ist in Vorbereitung.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

IGEL, J., KURZ, G. & SCHULZ, R. (2003): Erkundung von Problemzonen im Salinar mit dem Georadar. – Ext. Abstr. 63. Tagung Dt. Geophys. Ges.: 412-413; Jena.

JACOBS, F., JUST, A., KRAUSE, Y., TUCH, A., SCHUCK, A., SCHULZ, R., KURZ, G., IGEL, J., LINDNER, U., SCHICHT, T., SCHWANDT, A., KÜHNICKE, H. & SCHULZE, E. (2003): Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien. – Ext. Abstr. 63. Tagung Dt. Geophys. Ges.: 420-421; Jena.

KURZ, G., IGEL, J. & SCHULZ, R. (2003): 3D electromagnetic modelling in frequency domain - studies of underground measurements in a salt mine. - Proceedings Intern. "3D EM at Work" - Symposium, Adelaide, 20.-21.02.2003: 6p. (accepted).

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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 gewonnen Zwischenergebnisse in einem weiteren BMBF-Vorhaben („Äquipotentialsegmente“, Prof. Nuesch, Universität Karlsruhe, siehe dort).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Arbeitsgruppe Weimar

Überprüfung der Homogenität der Materialstruktur, Untersuchungen zur Mikrostruktur

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

Arbeitsgruppe Tübingen

Entwicklung/Numerik Modells, Implementierung, Verifizierung, Validierung, Modell-Anwendung

Fortführung der Rechnungen für Mehrphasen-Mehrkomponenten-Prozesse, den Einfluss von Quellprozessen in Bentoniten sowie elasto-plastische Konsolidierungsprozesse.

Arbeitsgruppe Braunschweig

Versuchskörperherstellung, konstante Mikro-Struktur, Lösung, Probenpräparation

- Bestimmung von Diffusionskoeffizienten von Wasser in kompaktiertem Bentonit
- Infiltration von kompaktiertem Bentonit unter unterschiedlichen Randbedingungen

Arbeitsgruppe Braunschweig

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

Arbeitsgruppe Freiberg

- 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

AG Weimar: Entwicklung und erste Verifizierung einer neuen Hochdruckoedometerzelle. Diese erlaubt die Durchführung eines Quelldruckversuchs (max. 40 MPa) ohne Probenverformung. In einer zweiten Phase kann die gequollene Probe ohne notwendigen Ausbau eindimensional, d.h. bei verhinderter Seitendehnung komprimiert werden (max. 75 MPa).

AG Braunschweig: Quelldruckmessungen mit Calcigel/Sand-Gemischen und IP21-Lösung in kleinen und großen zylindrischen Messzellen.

AG Tübingen: Aufbau und Implementierung eines auf der DDL beruhenden chemischen Quellmodells und Verknüpfung mit dem Mehrphasenmodell, Verifizierung mit Daten AG Weimar

4. Ergebnisse

AG Tübingen: Die experimentellen Ergebnisse konnten mit dem gewählten Quellansatz erfolgreich nachvollzogen werden. Aufbau/Implementierung eines in Zusammenarbeit mit der AG Weimar entwickelten elasto-plastischen Stoffmodells. Verifizierung an Hand von Literaturbeispielen

AG Braunschweig: Die gemessenen Quelldrucke schwankten zwischen 10 und 30 bar. Die Proben in der kleinen Messzelle sperrten gegen einen Fluidruck von 100 bar ab, jene in der großen Messzelle hingegen nicht.

AG Freiberg: Die Abbildung der Mehrphasenströmung erfolgte auf der Grundlage einer im Quecksilber-Injektions-Versuch für die Formsteine FS40 und FS50 ermittelten Kapillardruck-Sättigungsfunktion. Der Zusammenhang zwischen Kapillardruck-Sättigungsfunktion und relativen Permeabilitäten für Gas und Lauge wurde über den empirischen Ansatz nach BROOKS & COREY hergestellt. Auf der Grundlage der Kalibrierung der Sättigungsverteilung im Versuch ist die Prognose der Durch- und Umströmung von Bentonitdichtelementen möglich.

AG Weimar: Es wurden bereits umfangreiche Versuchsergebnisse auf internationalen Tagungen veröffentlicht (siehe unten). Diese betreffen die Kapillardrucksättigungsbeziehung, das Quellverhalten und erste Ergebnisse zur Durchlässigkeit und Steifigkeit im Oedometerversuch. Die SWCC's resultierend aus Versuchen mit verhin- derter und freier Verformung stimmen nicht überein. Der maximale Quelldruck mit Wasser beträgt 2450 kPa. Dieser maximale Wert stellt sich bei den zur Zeit untersuchten Saugspannungen nicht ein. Die Kompressibilität aus gesättigten Oedometerversuchen beträgt 10^{-9} bis 10^{-7} m^2/s und die Permeabilität 10^{-12} bis 10^{-10} m/s für Potenzahlen zwischen 0.35 bis 0.65.

5. Geplante Weiterarbeiten

AG Braunschweig: Fortführung der Quelldruckversuchen, Einfluss der Probengeometrie.

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: Erweiterung des elasto-plastischen Stoffmodells in Bezug auf Teilsättigung und Anisotropie, Einbindung des geochemischen Modells Phreeqc in Rockflow

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Tripathy, S. & Schanz, T., Evaluation of two new devices for measuring total suction of unsaturated soils, Proc. of International Symposium on Advances in Geotechnical Engineering SAGE 2003, Indian Institute of Technology, Kanpur, India, pp. 172-182, 2003.

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.

Agus, S. S. & Schanz, T., Swelling pressures and soil-water characteristic curves of a highly compacted bentonite-sand mixture, Int. Conf. From experimental evidence towards numerical modelling of unsaturated soils, Weimar, Springer, Lecture Notes in Applied Mechanics, 2003.

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

- AP 1: Entwicklung, Bau und Erprobung eines Bohrstandes mit dem im Gesteinslabor durch schonendes Bohren zylindrische Prüfkörper mit Schichtflächen für Scherversuche hergestellt wurden.
Durchführung direkter Scherversuche an zylindrischen Prüfkörpern mit Schichtflächen Carnallitit/Steinsalz unter konstanter Normallast (CNL) mit dem am IfG in Betrieb genommenen Gesteinsprüfsystem MTS 816.
- AP 2: Überprüfung des entwickelten analytischen Schermodellansatzes für Diskontinuitäts- und Schichtflächen im Salinar an den vorliegenden experimentellen Versuchsergebnissen.

4. Ergebnisse

- AP 1: Die Erprobung von Methoden zur Gewinnung von Probenmaterial mit mechanischen Schwächeflächen und Herstellung von Prüfkörpern zur Untersuchung des mechanischen Verhaltens natürlicher Diskontinuitäts- bzw. Schichtflächen aus dem Salinar konnten erfolgreich abgeschlossen werden.
Die durchgeführten Scherversuche an Schichtflächen Carnallitit/Steinsalz haben ein Phänomen aufgedeckt, welches im Hinblick auf das Stabilitätsverhalten von Tragelementen von besonderem Interesse ist. Beim Erreichen der Scherfestigkeitsgrenze tritt eine Reduzierung der Dilatanz auf bzw. es kommt zu einem plötzlichen Dilatanzkollaps.
- AP 2: Das bei den experimentellen Untersuchungen an Schichtflächen festgestellte Dilatanzverhalten erfordert eine Modifizierung des entwickelten Schermodellansatzes. Die auftretenden Kontaktspannungen in der Scherfuge sind vermutlich so groß, dass es beim Scherversagen zu einer Kornzertrümmerung bei gering festen Salzgesteinen mit dem beobachteten Dilatanzverlust kommt.

5. Geplante Weiterarbeiten

- AP 1: Durchführung weiterer Scherversuche zur Absicherung des beobachteten Phänomens zum Dilatanzkollaps an Schichtflächen Carnallitit/Steinsalz.
Ausdehnung der experimentellen Untersuchungen auf Diskontinuitäts- bzw. Schichtflächen in anderen Salinargesteinen.
- AP 2: Weiterentwicklung des Schermodellansatzes unter Einbeziehung der experimentell gewonnenen Untersuchungsergebnisse, speziell zum Dilatanzverhalten. Erste Vorgaben zur numerischen Umsetzung des Stoffmodells.

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

keine

7. 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

- Fortsetzung und vorläufiger Abschluss der Literaturlauswertung.
- Fortsetzung der Arbeiten zur potentiometrischen Bestimmung des pK-Wertes von Si-Spezies in Lösungen in Abhängigkeit der Salzfracht.
- Fortsetzung der Untersuchung von Auflösungsreaktionen von einfachen Mineralphasen.
- Beginn der Arbeiten zur systematischen Bestimmung des Liquid-Junction-Potentials von Elektroden in konzentrierten salzhaltigen Lösungen zur Korrektur von Messdaten von potentiometrischen Titrationen

4. Ergebnisse

- Die bei den potentiometrischen Titrationen beobachteten Verschiebungen des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von $\text{H}_4\text{SiO}_4 / \text{H}_3\text{SiO}_4^-$ in Abhängigkeit von der Salzfracht sind möglicherweise z. T. Artefakte und so nicht zur Bestimmung von Pitzerkoeffizienten auswertbar. Die Messungen müssen wiederholt werden, auch mit Hilfe coulometrischer Titrationen.
- Die Literaturdaten zur Löslichkeit von Al-haltigen Mineralen (vor allem Gibbsit, Bayerit, Böhmit, Diaspor) in Abhängigkeit von der Salzkonzentration wurden zusammenfassend bewertet und systematisiert. Die Daten weisen insbesondere bei den zweiwertigen Ionen der Salze des hexären Systems ozeanischer Salze (Mg, Ca, Sulfat) erhebliche Lücken auf, zu deren Behebung gezielte Laborexperimente geplant worden sind.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der Arbeiten zur Bestimmung des Liquid-Junction-Potentials.
- Fortsetzung der Untersuchung von Auflösungsreaktionen von einfachen Mineralphasen.
- Beginn der Untersuchungen zur Löslichkeit von komplexer aufgebauten Mineralphasen.
- Beginn der Arbeiten zur Löslichkeit von Gibbsit im pH-Bereich > 9 in den Systemen $\text{NaCl-H}_2\text{O}$, $\text{KCl-H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ und $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$.
- Coulometrische und potentiometrische Titrationen zur Bestimmung des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von $\text{H}_4\text{SiO}_4 / \text{H}_3\text{SiO}_4^-$
- Beginn der isopiestic Messungen mit SiO_2 im Neutralbereich und Al^{3+} im sauren pH-Bereich

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

keine

7. 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 30.12.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Entsprechend dem Zeitplan des Vorhabens wurde die **AP 1** (Konzeption des Verschlussbauwerkes, Versuchsplanung) abschließend umgesetzt. Die Konzeption des Verschlussbauwerkes (AP 1.1, 1.2) konnte festgelegt werden. Die Übergänge vom Dichtsegment (DS) auf das Äquipotenzialsegment (ÄS) bedürfen einer vertieften Untersuchung (siehe AP 2). Das ÄS ist gegliedert zu konstruieren, nämlich flächig benetzend an der Kontaktfläche mit dem DS und kapillar brechend in seinem Kern (das Austrocknen der DS, die Bildung von Schrumpfrissen, ist zu verhindern). Die Messtechnik (AP 1.4) besteht aus einem TDR-Gerät mit über Koaxialkabel angeschlossenen Sensorkabeln. Da mehrere Sensoren eingebaut werden, wird zwischen TDR-Gerät und Sensoren ein Multiplexer (MUX) angeordnet. Er verbindet nacheinander die Sensorkabel mit dem TDR-Gerät. Es wurden zwei Varianten untersucht: zentraler MUX, wobei alle Koaxialkabel durch das DS zum MUX zu führen sind. Bei vielen Sensoren bedeutet das eine starke Störung des gesamten Dichtungsbauwerkes. Sie wird verringert durch den Einsatz dezentraler MUX. Hier führt nur ein Koaxialkabel durch das DS zum TDR-Gerät. Die Feuchtefront konnte auch im Salinar genügend genau detektiert werden. Mit der AP 1.3 (Ausbildung der Ränder des Verschlussbauwerkes, Trennen der einzelnen Schichten, Bau- und Einbringtechnik) konnten die Erfahrungen z.B. aus Sondershausen und Bad Salzdetfurth in das Projekt eingeschlossen werden. Der Rand des Verschlussbauwerkes soll die Eigenheiten der verschiedenen Wirtsgesteine berücksichtigen (AP 1.6). Zum derzeitigen Projektstand ist vorgesehen, die ÄS in das Wirtsgestein einzubinden, um z.B. Flüsse und Umläufigkeiten in der Auflockerungszone zu erfassen. Die Baumaterialien für das Verschlussystem sind in Abhängigkeit vom Wirtsgestein (Salz, Ton, Festgestein) auch entsprechend den rechtlichen Randbedingungen (EU-DepRI, VersatzVO, VersatzVWV, DepVO etc.) zu wählen. Die sicherheitstechnischen Randbedingungen, speziell für den Bau unter Tage, wurden eruiert und in die Bautechnik integriert (AP 1.5). Es ist auf staubende Materialien zu verzichten. Ebenfalls sind Materialien, die sich organisch umsetzen, gasen oder stechende Gerüche absondern, auszuschließen.

AP 2: Materialuntersuchungen für das DS: Es wurden 3 Bentonite (Volclay, zwei Arten von Calcigel), für Materialuntersuchungen ausgewählt. Entscheidendes Kriterium war die Verfügbarkeit sowie „die Popularität“ der Bentonite in Labor- und Großversuchen und der damit verbundenen 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 (TG/DSC gekoppelt mit MS/FTIR) haben gezeigt, dass der Fehler bei der Wassergehaltsbestimmung von der Ionenbelegung der Zwischenschichten der quellfähigen Tonminerale sowie der Konditionierung der Bentonite abhängig ist.

Materialuntersuchung für das ÄS: Um die Funktionsweise des ÄS zu simulieren, wurde ein Versuchsstand konzipiert, in dem in trennbaren Kammern unterschiedliche Materialien eingebaut werden können. Dadurch ist der zeitliche und räumliche Verlauf von Feuchtefronten in den kapillaren und der kapillar brechenden Schichten gut zu verfolgen und man erhält Aufschluss über geeignete Materialien für die Schichtenfolge im ÄS. Ein erster Versuch belegte die Funktionsfähigkeit des Aufbaus.

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 im Laborversuch und in der Praxis zu verwendenden Materialien von entscheidender Bedeutung. Hierzu müssen zunächst einmal alle für die Simulation relevanten Parameter beschrieben werden. Diese werden dann anhand der vorliegenden Materialproben analytisch bestimmt oder aus der Literatur abgeschätzt. Parallel konnten erste Simulationen durchgeführt werden, an Hand derer der weitere Modifizierungsbedarf abgeschätzt werden kann.

4. Ergebnisse

Die AP 1 wurde abgeschlossen, die AP 2 und AP 3 begonnen. Die Ergebnisse wurden im Rahmen der 3. Projektsitzung am 10. Juli 2003 im FZK der Projekträgerchaft vorgestellt.

Geotechnik: Wichtig für den Nachweis der Wirksamkeit des Verschlussbauwerkes wird die Ermittlung des tatsächlichen Wassergehaltes im DS. Dazu wurden vertiefte Materialuntersuchungen durchgeführt. Das Verschlussystem ist unter Berücksichtigung der gesetzlichen Randbedingungen (Qualität nach EU-DepRI, VeratzVO...) in jedes Wirtsgestein integrierbar.

Numerische Modellierung: Für diese Aufgabe sind die Basisdaten (Materialkennwerte) entscheidend. Das Vorgehen kann nur iterativ erfolgen, d.h. parallel zu den Materialuntersuchungen (AP2). Die kritischen Parameter wurden identifiziert und in das Modell integriert.

Materialuntersuchung: Die Materials für DS und ÄS sind vertieft zu untersuchen. Das ÄS soll gleichzeitig kapillar brechend (Unterbrechung des Flusses aus dem DS) und flächig benetzend (Oberfläche des DS) sein soll. Für das Material im DS steht die exakte Bestimmung des Wassergehaltes im Vordergrund.

5. Geplante Weiterarbeiten

Die AP 2 wird weiter umgesetzt. Mit den Untersuchungen an weiteren geeigneten Materialien soll das Design der ÄS festgelegt werden. Dazu sind Versuche mit verschiedenen Materialien, Schichtungen, Zugabe von Flüssigkeit in unterschiedlichen Mengen mit variablem Druck durchzuführen. Mit den Daten wird später ein halbertechnischer Versuch aufgebaut (AP 4).

DS: Die Versuche werden nach Lagerung der Bentonite unter definierten Luftfeuchtigkeiten wiederholt, um den Mechanismus zu erklären. Parallel wird die AP3 (Numerische Modellierung) weitergeführt. Die entscheidenden Parameter werden identifiziert (Parametervariation) und in das Modell integriert.

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

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

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: IIF 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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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 Ultraspurenanalytik im geochemisch relevanten Flüssig-Fest-Phasensystem
- Sorptionsstudien von chemotoxischen Schwermetallen an Geomatrices unter naturnahen Bedingungen im Nichtgleichgewichts- und Gleichgewichtszustand mittels Radioisotopen
- Verteilungsmessungen von chemotoxischen Schwermetallspezies geogener und anthropogener Kohlenstoffverbindungen an Geomatrices
- Komplexstudien von chemotoxischen Schwermetallen mit anorganischen und organischen Komplexbildnern unter Verwendung von Radioisotopen und naturnahen Bedingungen
- Speziation von chemotoxischen Schwermetallen im System Schwermetall / Komplexbildner / Geomatrices mit der Methode der radioaktiven Mehrfachmarkierung
- Abschließende Auswertung, Dokumentation und Schlussberichterstellung.

3. Durchgeführte Arbeiten

- Auswahl und Konditionierung repräsentativer geogener Matrices und Modellmatrices für die Verwendung von geochemischen Verteilungsmessungen
- Erprobung der Markierung von Huminsäuren mit nichtradioaktivem ^{12}C -Precursor

- Vorbereitungen für die Probennahmen und Extraktion von geogenen und anthropogenen Kohlenstoffverbindungen aus untertageponierelevanten Wässern / Pegeln
- Literaturrecherche zum internationalen Stand zur Thematik: Mobilisierung und Rückhaltung von chemotoxischen Schwermetallspezies des NOM

4. Ergebnisse

Die geogenen Matrizes Granit und Diabas wurden im Harz beprobt, gemahlen und in Siebfractionen unterteilt. Analog wurde kommerzieller Seesand behandelt. Gemäß der Festlegung des Huminstoffverbundes wurde der Standard-Kaolinit (KGa-1b) besorgt und erste Präparationen durchgeführt. Die Synthese und Reinigung von „kalt“-markierten Huminsäuren mit einem ^{12}C -Precursor wurde eintrainiert, um diese auf die ^{14}C -Markierung zu übertragen.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Sorptionsstudien mit der synthetischen, ^{14}C -markierten Huminsäure M42 (FZR) an geogenen Matrizes unter naturnahen Bedingungen
- Charakterisierung der synthetischen, ^{14}C -markierten Huminsäure M42 durch elektrophoretische Methoden und Radiochromatographie
- Radioaktive Markierung von natürlichen Huminsäuren mit einem ^{14}C -Precursor
- Synthese und Reinigung von kommerziell nicht erhältlichen Radioisotopen für die Ultraspurenanalytik
- Sorptionsstudien von chemotoxischen Schwermetallen und Huminsäuren an der Modellmatrix Kaolinit
- Probennahmen und Extraktion von geogenen und anthropogenen Kohlenstoffverbindungen aus untertageponierelevanten Wässern / Pegeln

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

- A. Mansel, H. Kupsch: „Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen / anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle.“, Abschlussbericht, BMBF Projekt Nr.: 02 C 0709, April 2003.
- A. Mansel, H. Kupsch: „Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen / anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle: Verteilungsmessungen divalenter Schwermetalle im System Huminsäure / Geomatrices mit Hilfe von Radiotracer.“ 11. Huminsäure-Workshop des BMBF und BMWA, 02. - 03. April 2003, Mainz.
- H. Kupsch, N. Trautmann, H.-P. Beck, G. Bernhard, T. Fanghänel: „Verhalten von Huminstoffen (Huminstoffverbund).“ Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8
- A. Mansel, H. Kupsch: „Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen / anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle.“ Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen, 6. Projektstatusgespräch des Projektträgers des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PtWT+E), 27.-28. Mai 2003, Karlsruhe, FZKA-PTE Nr. 8

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
Gesamtkosten des Vorhabens: 470.201,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Knoll	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

1.1 Vorhabensziele

- Grundkonzeption für langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke im leichtlöslichen Salzgestein für eine UTD/UTV

1.2 Bezug zu anderen Vorhaben

- Weiterentwicklung von Endlager- bzw. Untertagedeponiekonzeption unter Sicherheitsgesichtspunkten
- Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- In-situ-Durchlässigkeitsuntersuchungen Montagekammer 3a-Sohle
- Untersuchungen Dammbaustoff auf Ca-Sulfatbasis
- In-situ-Versuch Einschätzung Sensibilität des Carnallitstoßes
- In-situ-Versuch Oberflächeninjektion

4. Ergebnisse

Polyhalitbildung in Q-Lösung ist auch bei Raumtemperatur realisierbar, nicht jedoch in R-Lösung. Die blockierende Wirkung von hohen CaCl_2 -Gehalten gegenüber Kieserit ist nahezu vollständig. Es liegen mehrere alternative Rezepturen für Injektionssuspensionen auf anorganischer Basis vor.

5. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung von In-situ-Untersuchungen zur Erfassung der Wirkungsbedingungen und Probenahme zur Bestimmung der zur Beschreibung der ALZ relevanten gesteinsmechanischen Parameter.
- Weiterführung der Permeabilitätsuntersuchungen in der Montagekammer 3a-Sohle.
- Experimentelle Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Gips, Halbhydrat und Anhydrit in Q-Lauge in unterschiedlichen Anteilen von löslichen Sulfaten und Carnallit.
- Weitere experimentelle Unterersetzung der Blockierungswirkungen gegenüber Kieserit. Weitere Optimierung der Injektionsrezepturen. Bestimmung der Bildungskinetik von Polyhalit bei Gebirgstemperaturen.
- Fortsetzung der Laborversuche zum Schwellverhalten von Anhydritgruspresslingen.
- Mineralogische Untersuchungen am Probenmaterial.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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.

Laborative Messung der Gaspermeation an ungestörten Salzkernen und Untersuchungen der Kapillar- und Gassperrdrücke an Salzpresslingen und Sandsteinreferenzmaterial als Basisversuche zur Korrelation der Prozessabläufe an dilatant aufgelockerten Salzkernen in Anwesenheit einer Lagenphase. In-situ-Gasinfiltation- und Gasfracversuche zur Bestimmung des Druckaufbaus (Sperr- bzw. Fracdruck) und Messung des Gastransportes bei gleichzeitiger räumlicher Lokalisierung des gebildeten Rissystems durch Schallemissions- und Durchschallungsmessungen. Die aus den Untersuchungen abgeleiteten Ergebnisse sollen eine sichere Basis für die Prozess-Simulation der Gasausbreitung aus einem unterirdischen Grubenbau in das Wirtsgestein bilden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben 02C0952 umfasst folgende Arbeitspakete :

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

3. Durchgeführte Arbeiten

- Adaptierung der Triaxialpermeameteranlage an die geplanten Gaspermeationsexperimente mit Laugenphase
- Bau und Test eines Porosimeter für Probekörper mit geringer Porosität ($< 1\%$)
Die ersten Ergebnisse zeigen, dass Porositäten dieser Größenordnung mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden können.
- Konzeption und Vorbereitung des untertägigen Versuchsortes im Werk Bernburg
- Neukonstruktion und Bau einer 3-Kreis-Doppelpackersonde ($\varnothing = 60\text{mm}$) mit labortechnischer Untersuchung des Packerverhaltens zur Vermeidung mechanischer Schädigung des Gebirges
- Laborversuche mit Erhöhung des Gaspendruckes bis zur Frac-Grenze
- Adaptierung der akustischen Messapparatur für die bevorstehenden in-situ Messungen

4. Ergebnisse

Es liegen noch keine Ergebnisse vor.

5. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden programmgemäß weitergeführt.

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

keine

2.4 W-Vorhaben

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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 Kontrollsystem

- c) Entwicklung von Methoden zur Unterstützung der IAEO-Routineaktivitäten
- d) Identifizierung von Indikatoren zur Entdeckung nichtdeklarer Anlagen oder Aktivitäten
- e) Analyse der Kostenreduktion für die IAEO
- f) Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten

TEIL I: Vernetzbare, miniaturisierte, fernabfragbare Überwachungstechniken

Am 27.03. wurde der digitale Vielkanal-Analysator DIUM in Wien im Rahmen einer Projektsitzung demonstriert und die Abstimmung über Hardware- und Softwarespezifikationen mit der IAEO und Euratom fortgesetzt; Entwurf und Abstimmung des Abschlussberichtes.

TEIL II: Auswertung von Open Sources (Satellitenerkundung)

In einer Zusammenarbeit mit der Universität Bonn und der Technischen Universität Dänemark wurde eine Methode zur automatischen radiometrischen Normierung multitemporaler Satellitenbilder entwickelt.

4. Ergebnisse

TEIL I: Vernetzbare, miniaturisierte, fernabfragbare Überwachungstechniken

Die technische Dokumentation zu den DIUM-Gerätespezifikationen ist fast abgeschlossen, die zur TMCADRV Dynamic Link Library wird später zu Ende gebracht.

TEIL II: Auswertung von Open Sources (Satellitenerkundung)

Die Methode zur automatischen radiometrischen Normierung multitemporaler Satellitenbilder wurde mit gutem Erfolg auf drei verschiedene Datensätze zur Erprobung angewandt.

5. Geplante Weiterarbeiten

TEIL I: Vernetzbare, miniaturisierte, fernabfragbare Überwachungstechniken

Bau von Vorproduktions- sowie Feldtest-Einheiten und Auslieferung an die IAEO; Fertigstellung und Abgabe des Abschlussberichtes; außerhalb des Projekts: Implementierung von Authentifizierung und Verschlüsselung, Durchführung von Tests, Fertigstellung der DIUM-Dokumentationen.

TEIL II: Auswertung von Open Sources (Satellitenerkundung)

Es soll eine benutzerfreundliche Oberfläche für das radiometrische Normierungsverfahren entwickelt werden.

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

zur Zeit nicht zutreffend

7. Berichte, Veröffentlichungen

Canty, M., Nielsen, A., Schmidt, M.; Automatic Radiometric Normalization of Multispectral Satellite Imagery, eingereicht zur Veröffentlichung in: Remote Sensing of Environment.

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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

Im Rahmen der Projektgruppe fanden drei Veranstaltungen statt:

- Aktuelle Probleme der Chemiewaffenkonvention
- Aktuelle Safeguardsprobleme Irak und Iran
- Neue Aspekte für die Nichtverbreitung von Kernwaffen und für die Abrüstung.

4. Ergebnisse

Die Veranstaltungen finden bei der DGAP in Berlin statt und sind sehr gut besucht von Teilnehmern aus Politik, Medien, Administration, Wissenschaft und Industrie. Der intensive Gedankenaustausch ist wichtig für die Definition deutscher Politiken bei diesen Fragestellungen.

5. Geplante Weiterarbeiten

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

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

M. Stein, G. Stein und C. Xerri; Economic Implications of Intrinsic and Extrinsic Features to Support Proliferation Resistance of Future Nuclear Technologies, als Vortrag angenommen für die 44. Jahrestagung des INMM, Phoenix/USA, 14.-16. Juli 2003, und wird zur Veröffentlichung im Tagungsband eingereicht.

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: 01.01.2003 bis 30.06.2003	
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, 02E9370, 02E9390, 02E9410, 02E9430, 02E9491, 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, 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

Die Vorhaben sind eingebunden in die folgenden internationalen Projekte:

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 von 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.

4. Ergebnisse

Siehe Bericht zu den Vorhaben in Kapitel 2.1.

5. Geplante Weiterarbeiten

Im Berichtszeitraum waren insgesamt 16 Vorhaben in die internationalen Programme zur Untersuchung alternativer Wirtsgesteine (aus deutscher Sicht) eingebunden. Davon sind zwei Vorhaben beendet worden (02E 9370 und 02E 9420). Im zweiten Halbjahr 2003 ist die Laufzeit von zwei weiteren Vorhaben beendet: (02E 9430, 02E 9541), zwei neue Vorhaben werden gestartet.

In den übrigen Vorhaben werden die Untersuchungen gemäß den eingegangenen Verpflichtungen in den laufenden Projekten weitergeführt (siehe hierzu im Einzelnen die Berichte in Kapitel 2.1).

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

keine

7. Berichte, Veröffentlichungen

Siehe Berichte zu den einzelnen Vorhaben in Kapitel 2.1.

3 Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen

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	134
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	42
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	24
02 E 9511	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	74
02 E 9521	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)	76
02 E 9531	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	78
02 E 9571	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen	86
02 E 9612	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	94
02 E 9642	Untersuchungen zur Endlagerung in Großbohrlöchern	100
Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE), Eschenstraße 55, 31201 Peine		
02 E 9289	Versuchsfeldaufwältigung und Rückgewinnung von Materialproben und Messeinrichtungen	32
Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		
02 W 6218	Entwicklung digitaler Safeguardstechniken zur Verbesserung der Effektivität und der Kosteneffizienz und Anpassung an das neue Safeguardssystem INFCIRC/540	150
02 W 6232	Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen	152
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe		
02 C 0810	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung	120
KWA 2003	Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine	159

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

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

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

- | | | |
|-----------|--|-------|
| 02 C 0851 | Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien – Geosonar- und Ultraschallverfahren | 📖 128 |
|-----------|--|-------|

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

- | | | |
|-----------|--|-------|
| 02 C 0628 | Modellrechnungen zur großräumigen dichteabhängigen Grundwasserbewegung | 📖 108 |
| 02 C 0669 | Hydraulische Kennwerte von tonhaltigen Mineralgemischen zum Verschluss von Untertagedeponien | 📖 110 |
| 02 C 0689 | Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien | 📖 112 |
| 02 C 0710 | Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten | 📖 114 |
| 02 C 0830 | Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar | 📖 124 |
| 02 C 0912 | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien | 📖 138 |
| 02 E 9118 | Untersuchungen zur hydraulisch wirksamen Auflockerungszone um Endlagerbereiche im Salinar in Abhängigkeit vom Hohlraumabstand und Spannungszustand | 📖 12 |
| 02 E 9138 | Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des geochemischen Milieus in hochsalinaren Lösungen | 📖 14 |
| 02 E 9148 | Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransports | 📖 16 |
| 02 E 9178 | Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE) | 📖 18 |
| 02 E 9198 | Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel (Phase V) | 📖 20 |
| 02 E 9239 | Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern | 📖 22 |
| 02 E 9269 | Abschließende Auswertung des Projektes „Thermische Simulation der Streckenlagerung / Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar“ | 📖 28 |

- 02 E 9279 Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ 30
- 02 E 9390 Untersuchungen zur Gasentwicklung und –freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt „Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock – Phase II“ FEBEX II 50
- 02 E 9400 Untersuchungen zur Gasentwicklung und –freisetzung im Boom Clay in Mol im Projekt: „Integrated in Situ Corrosion Test on Alpha-Active High Level Waste Glass – Phase 2“ CORALUS 2 52
- 02 E 9420 Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Allovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP 56
- 02 E 9430 Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin, Mitarbeit in der Task Force „EBS“ des HRL Äspö 58
- 02 E 9440 Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers 60
- 02 E 9461 Untersuchung der chemischen und hydrochemischen Wechselwirkungen von Ton/Zement-Systemen; ECOCLAY – Phase II 64
- 02 E 9541 Vorprojekt zur Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im URL Bure 80
- 02 E 9501 Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinustons im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor 72
- 02 E 9551 Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen 82
- 02 E 9561 Modellentwicklung zur Quellung hochkompaktierter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 – 120° 84
- 02 E 9592 Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2 90
- 02 E 9602 Untersuchungen zur Gaserzeugung und –freisetzung sowie dem Wassergehalt und der Wasserumverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels 92
- 02 E 9622 Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein 96
- 02 E 9713 Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager, - SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor, Vorprojekt 102

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 144

- | | | |
|--|--|-----|
| 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 | 136 |
| 02 E 9259 | Untersuchung des Spannungszustandes und des gebirgsmechanischen Verhaltens von Versatz und Wirtsgestein in Abhängigkeit von der Temperatur | 26 |
| 02 E 9582 | Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2 | 88 |
| Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30631 Hannover | | |
| 02 C 0871 | Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien – Elektromagnetik, Georadar, Quantitative Charakterisierung von Problemzonen | 132 |
| 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) | 142 |
| 02 E 9329 | Komplexierung und Migration von Al, Ga, In, Sc, Y, La und Schwermetallen mit Huminsäure | 38 |
| 02 E 9380 | Migrations- und Sorptionsuntersuchungen geogener Lösungen in Wirtsgesteinsformationen (Tone, Tongestein, Salzgestein) mittels tomographischer Radiotracerverfahren (PET) | 48 |
| Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55099 Mainz | | |
| 02 E 9309 | Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nichtradioaktiven Stoffen | 36 |
| Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe | | |
| KWA 9300 | Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine | 159 |
| Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99404 Weimar | | |
| 02 C 0800 | Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung | 118 |
| TU Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09596 Freiberg | | |
| 02 C 0547 | Entwicklung eines Grundkonzepts für langzeitstabile Streckenverschlussbauwerke im Salinar -Bau und Test eines Versuchsverschlussbauwerkes unter realen Bedingungen- | 106 |
| 02 C 0820 | Zeitliche Veränderungen der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften | 122 |
| 02 E 9330 | Untersuchung der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen | 40 |

TU Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2A, 38670 Clausthal-Zellerfeld

- | | | |
|------------------|---|-------|
| 02 C 0720 | Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie | 📖 116 |
| 02 C 0841 | Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten | 📖 126 |
| 02 C 0952 | Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge | 📖 146 |
| 02 E 9410 | Transport und Rückhaltung von Schadstoffen in alterierten Kluffbereichen des HRL Äspö | 📖 54 |
| 02 E 9632 | Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein | 📖 98 |

Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München
--

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

Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover

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

Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe
--

- | | | |
|------------------|---|-------|
| 02 C 0922 | Verschlussystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität | 📖 140 |
|------------------|---|-------|

Universität Leipzig, Ritterstraße 26, 04009 Leipzig
--

- | | | |
|------------------|--|-------|
| 02 C 0861 | Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geoelektrik, Seismik, Geologie | 📖 130 |
|------------------|--|-------|

Universität Stuttgart, Keplerstraße 7, 70049 Stuttgart

- | | | |
|------------------|--|------|
| 02 E 9370 | Weiterentwicklung von Simulationstechniken für Gas-Wasser-Prozesse in geklüftet-porösen Medien auf der Feldskala | 📖 46 |
|------------------|--|------|