

Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft

PTE Nr. 27

Bericht über die im ersten Halbjahr 2004
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 2004

PTE-Berichte

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

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

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

Vorwort

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

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

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

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

Dem Bericht liegt folgendes Gliederungsprinzip zugrunde:

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

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

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

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

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

Inhaltsverzeichnis

1	Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen	1
1.1	<i>Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien</i>	<i>3</i>
1.3	<i>Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung</i>	<i>9</i>
2	Formalisierte Zwischenberichte	11
2.1	E-VORHABEN	11
2.2	C-VORHABEN.....	116
2.4	W-VORHABEN.....	168
2.5	BMWA-HAUSVORHABEN	174
3	Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....	178

1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen

1.1 Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten

02 C 0800	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung	Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar	📖 123
02 C 0830	Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 127
02 C 0881	Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement	Bauhaus-Universität Weimar	📖 131
02 C 0942	Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV	GTS Grube Teutschenthal	📖 141
02 C 0963	Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 145
02 C 0973	Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 147
02 C 0983	Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 149
02 C 0993	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und alumosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C bis 90° C	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 151
02 C 1064	Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken	Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität, Weimar	📖 165
02 E 9854	Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 99
KWA 2003	Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	📖 175

1.2 Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien

02 C 0689	Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 117
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	📖 119
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	📖 121
02 C 0820	Zeitliche Veränderung der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften	TU Bergakademie Freiberg	📖 125
02 C 0841	Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 129
02 C 0892	Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen	IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 133
02 C 0912	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 135
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	📖 137
02 C 0932	Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)	IIF e.V., Leipzig	📖 139
02 C 0952	Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 143
02 C 1004	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 1	Dr. Andreas Hampel, Isernhagen	📖 153

02 C 1014	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 2	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover	📖 155
02 C 1024	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 3	IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 157
02 C 1034	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 159
02 C 1044	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5	Universität Hannover	📖 161
02 C 1054	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 6	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	📖 163
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	📖 12
02 E 9239	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 14
02 E 9249	Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt des Nachweises der Betriebssicherheit in einem Endlager	DBE Technology GmbH, Peine	📖 16
02 E 9279	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 18
02 E 9390	Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt "Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock - Phase II" FEBEX II	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 20
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	📖 22
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	📖 24
02 E 9471	Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 26
02 E 9481	Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren	Universität Hannover	📖 28

02 E 9491	Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 30
02 E 9501	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinustons im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 32
02 E 9511	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 34
02 E 9521	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 36
02 E 9531	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	DBE Technology GmbH, Peine	📖 38
02 E 9551	Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 40
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	📖 42
02 E 9571	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen	DBE Technology GmbH, Peine	📖 44
02 E 9582	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 46
02 E 9592	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 48
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	📖 50
02 E 9612	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	DBE Technology GmbH, Peine	📖 52
02 E 9622	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 54
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	📖 56
02 E 9653	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kalolinit	Johannes Gutenberg-Universität Mainz	📖 59

02 E 9663	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Entwicklung und Einsatz von Radiotracern für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen	IIF e.V., Leipzig	📖 61
02 E 9673	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen	FZR, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden	📖 63
02 E 9683	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure - Metall - Kaolinit	Universität des Saarlandes, Saarbrücken	📖 65
02 E 9693	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe	TU München	📖 67
02 E 9703	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	📖 69
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	📖 71
02 E 9723	Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 73
02 E 9733	Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein	DBE Technology GmbH, Peine	📖 75
02 E 9743	Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö	DBE Technology GmbH, Peine	📖 77
02 E 9753	Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracern	IIF e.V., Leipzig	📖 79
02 E 9763	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden	TU München	📖 81
02 E 9773	Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 83

02 E 9783	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 85
02 E 9793	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	Öko-Institut e.V., Freiburg	📖 87
02 E 9803	Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager	FZ-Jülich	📖 89
02 E 9813	Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 91
02 E 9824	Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 93
02 E 9834	Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 95
02 E 9844	NF-PRO5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 97
02 E 9864	Selbstheilungseffekte in Tongestein bei hohen Temperaturen – Teilvorhaben WP 4.4 des Integrated Project NF-PRO des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission	BUTECH Umwelttechnik GmbH, Eschborn	📖 101
02 E 9874	Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 103
02 E 9884	Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 105
02 E 9894	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineralgemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 107
02 E 9904	Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 109
02 E 9914	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2, Kurzzeitentwicklung der EDZ	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 111

02 E 9924 Verbundprojekt: Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Humin-Metall-Komplexierung (Teil Antrag im Verbund „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“) **Universität Potsdam**  113

1.3 Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung

- | | | | |
|------------------|---|--------------------------------------|-------|
| 02 W 6232 | Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen | Forschungszentrum Jülich GmbH | 📖 169 |
| 02 W 6243 | Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen | Forschungszentrum Jülich GmbH | 📖 171 |

2 Formalisierte Zwischenberichte

2.1 E-Vorhaben

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: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 854.131,00 EUR		Projektleiter: Dr. Jockwer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Von Anfang Januar bis Ende April 2004 wurden in das Silo das Tracergasgemisch, bestehend aus 90 vol% N₂ mit je 2 vol% He, Ne, Kr, i-C₄H₁₀ und SF₆ eingeleitet. In den Gasprobenehmern in der Silowand (Beton), im Bentonitbuffer, in der Streckenverfüllung und im umliegenden Gebirge wurden wöchentlich Gasproben entnommen und mit den im Versuchsfeld installierten Gaschromatographen auf den Gehalt an den Tracergaskomponenten untersucht. In den Gasprobenehmern in der Silowand, dem Bentonitbuffer und der Streckenverfüllung ist dabei die Konzentration der Tracergase kontinuierlich angestiegen. Eine Sättigungskonzentration wurde in dem zur Verfügung stehenden Zeitraum noch nicht erreicht. In den Gasprobenehmern im umliegenden Gebirge konnten keine signifikanten Konzentrationen der Tracergase nachgewiesen werden. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die gewählten Tracergase, die Konzentration und die Analytik für die Ermittlung der Gasausbreitung in technischen Barrieren geeignet ist; für weitere Untersuchungen sollten jedoch längere Zeiträume vorgesehen werden.

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

4. Geplante Weiterarbeiten

Auswertung und Darstellung der Ergebnisse der Tracergasmigration.

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9239
Vorhabensbezeichnung: Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2000 bis 30.10.2004	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.692.749,45 EUR	Projektleiter: Dr. Brewitz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

TA 1: Bearbeitung grundlegender Aspekte:

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

TA 2: Detaillierte Arbeiten zu ausgewählten Einzelthemen:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- TA 1:- Teilnahme an der Euradwaste Conference in Luxemburg mit Beiträgen zu den Projekten SPIN und BENIPA.
- Teilnahme an den Vorbereitungstreffen für den Workshop „Process Issues“ von NEA und EC zum Thema Engineered Barrier Systems (EBS) als Mitglied im Programmkomitee.
 - Teilnahme am „Task Force-Related Meeting on Buffer and Backfill Modelling in Lund.
 - Teilnahme am Waste Management Symposium 2004 in Tucson mit dem Vortrag: German participation in the EU-project Net.Excel – Status and perspectives of waste disposal research in rock salt.
 - Teilnahme am Vorbereitungstreffen zum 7. Rahmenprogramm der EU in Brüssel mit Diskussion der prioritären Forschungsthemen aus Betreibersicht und unter Aspekten der Vorsorgeforschung.
 - Teilnahme an der RWMC-Sitzung mit Kurzdarstellung des Fortschritts in der deutschen Grundlagenforschung zur Endlagerung.
 - Teilnahme am internationalen Workshop „Case Studies of Subsurface Radionuclide Migration“ in Meiringen, Schweiz.
 - Abschluss des NEA-Reviews zur Sicherheitsstudie Opalinuston der NAGRA. Der Review-Bericht liegt vor (s. Berichte, Veröffentlichungen).
 - Zusammenstellung und Dokumentation nationaler und internationaler Arbeiten zu Klimaänderungen über lange Zeiträume und zur Berücksichtigung der Auswirkungen klimatischer Änderungen in Biosphären- und Geosphärenmodellen für Sicherheitsanalysen.
 - Durchführung vergleichender Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit der Endlagerung von abgebranntem Brennstoff in Granit- und Salzformationen.
- TA 2:- Detaillierte Dokumentation der Ergebnisse zu Grundwasserbewegung und Schadstofftransport über lange Zeiträume an ausgewählten Standorten.
- Teilnahme am Workshop zum EU-Projekt NAnet. Durchführung von weiteren Reviews zu ausgewählten Studien über Natürliche Analoga.

Anfertigung des Abschlussberichts.

4. Geplante Weiterarbeiten

- TA 1:- Teilnahme am Kick-Off Meeting der EBS-Task-Force in Schweden.
- Auswertung und Dokumentation der vergleichenden Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit der Endlagerung von abgebranntem Brennstoff in Granit- und Salzformationen.
- TA 2:- Teilnahme an der nächsten Arbeitssitzung zum EU-Projekt NAnet. Abschluss und Dokumentation der Reviews zu ausgewählten Studien über Natürliche Analoga.

Fertigstellung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

OECD/NEA: Safety of Disposal of Spent Fuel, HLW and Long-lived ILW in Switzerland. An international Peer review of the post-closure radiological safety assessment for disposal in the Opalinus Clay of the Zürcher Weinland. NEA No. 5568, OECD 2004.

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 30.12.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.005.489,00 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Testmessungen mit faseroptischen Sensoren im Endlager Morsleben und im Felslabor Grimsel wurden fortgeführt. Das faseroptische Extensometer, das in einer horizontalen Bohrung am Stoß eines Abbaus im Endlager Morsleben installiert ist und die optischen Fissurometer, die zur Beobachtung von Rissöffnungen am Stoß installiert sind, zeigen gute Testergebnisse. Insbesondere das erzielte Auflösungsvermögen der Fissurometer stellt eine deutliche Verbesserung bisheriger Beobachtungsmöglichkeiten dar.

Der im Sand-Bentonit eingebaute Feuchtesensor im Felslabor Grimsel zeigte eine überraschend hohe Druckabhängigkeit, die das eigentliche Messsignal überlagert. In diesem Fall muss noch eine geeignete Filter- bzw. Kompensationsmethode erarbeitet werden.

Begonnen wurde mit der Erstellung des Abschlussberichtes über die erzielten Ergebnisse. Dieser Bericht gliedert sich in drei Teile:

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

Die endgültige Fertigstellung der Teilberichte erfolgt erst nach Ausbau der Sensorik, um die Ergebnisse der Nachanalyse mit in den Bericht aufnehmen zu können. Insbesondere der Analyse des langzeitlichen Einflusses einer gesättigten Salzlösung auf das Innere eines Feuchtesensors im Endlager Morsleben wird in diesem Zusammenhang mit Interesse entgegengesehen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Testmessungen im Felslabor Grimsel sollen bis zum Ende des GMT (Gas Migration Test) Versuches im Juli fortgeführt werden. Anschließend ist geplant, die eingebaute Sensorik rückzuholen und im Labor einer eingehenden Nachanalyse zu unterziehen. Der Ausbau der Sensorik ist nach jetziger Planung für den 12. Juli vorgesehen.

Die Testmessungen im Endlager Morsleben sollen bis zum Ende des Vorhabens fortgeführt werden. Auch hier ist eine Rückholung und Nachanalyse des gesamten Mess-Systems geplant. Der Abbau des Mess-Systems ist für November vorgesehen.

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9279	
Vorhabensbezeichnung: Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2000 bis 31.07.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 578.684,14 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Rothfuchs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1: Die Messungen im Backfill in Section I und II wurden weitergeführt und zeigten im Januar/Februar 2004 keine neuen Ergebnisse; der bisherige Trend (Resistivitätserniedrigung und Vergleichmäßigung durch Wasseraufnahme) setzte sich fort. Der Backfill ist noch nicht vollständig gesättigt.

Bei den Messungen im Buffer wurde die erwartete Verringerung der Resistivität mit der Wasseraufnahme festgestellt. Dabei scheint sich abzuzeichnen, dass die Wasseraufnahme aus dem Gebirge über die Bohrlochwand nicht signifikant ist, sondern dass das Wasser in erster Linie von oben vom verfüllten Tunnel her Zutritt.

Die Resistivitätsverteilungen entlang der Messketten im Gebirge ähneln einander sehr und ändern sich kaum. Die Gebirgsresistivität zeigt charakteristische Werte zwischen 2000 und 7000 Ωm . Die prognostizierte Entsättigung des Gebirges nach Einbau des Buffers wurde in Übereinstimmung mit der Interpretation der Buffermessungen nicht beobachtet.

AP 2: keine

4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Wieczorek, K., 2004: Application of Geoelectric Tomography for Monitoring Moisture Content and Tracer Distribution in Geotechnical Barriers and Host Rocks, Proc. Distec'04, International Conference on Radioactive Waste Disposal, April 26 – 28, 2004, Berlin Germany

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 31.12.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 428.635,26 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 Versuchsstrecke angelegt worden, in die 2 elektrische Erhitzer installiert worden sind. Die Resthohlräume im Versuchsfeld sind mit Bentonitformsteinen versetzt worden.

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

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

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Aus den im Versatz installierten Filterrohren wurden Gasproben für die qualitative und quantitative Analyse entnommen. Es konnten 3 bis 5 vol% CO₂, 0,1 bis 0,6 vol% H₂ und ca. 0,1 vol% Kohlenwasserstoffe nachgewiesen werden. Die freigesetzten Gase führten bisher zu keinem signifikanten Druckaufbau.

Die Labormessung für Ausheizzeiten bis 1000 Tage bei 100 °C wurden abgeschlossen. Sie ergaben, dass aus dem Bentonit im natürlich trocknen Zustand bis 0,38 m³ CO₂ pro 1000 kg und im wassergesättigten Zustand bis 1,59 m³ CO₂ pro 1000 kg gebildet und freigesetzt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der Messungen zur Gasfreisetzung aus dem aufgeheizten Bentonitversatz.

Weiterführung der Messungen zum Gasdruckaufbau im Porenraum des aufgeheizten Bentonitversatz.

Messungen zur Permeabilität des aufgeheizten Bentonitversatzes.

5. 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: 01.01.2004 bis 31.03.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 274.956,85 EUR		Projektleiter: Dr. Jockwer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP 2: Laboruntersuchungen zur Gasentwicklung aus den Versatzmaterialien

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die beiden Versuche CORALUS Test Tube 2 (30 °C, ohne ⁶⁰Co-Quelle) und CORALUS Test Tube 3 (90 °C, mit ⁶⁰Co-Quelle) sind im März 2004 nach 36 bzw. 15 Monaten Laufzeit beendet worden. Vor Abschalten der Erhitzer wurden aus den Piezometern noch Wasserproben zur Bestimmung der darin gelösten Gase entnommen und Permeabilitätsmessungen in den verschiedenen Versatzkörpern durchgeführt.

Im Test Tube 2 hat sich in den verschiedenen Versatzmaterialien mit 100 bis 400 Liter CO₂, bis zu 55 Liter CH₄ und bis zu 1 Liter Wasserstoff pro 1000 kg Wasser gelöst. In den Test Tubes 3 lagen die entsprechenden Werte mit 350 bis 800 Liter CO₂, bis zu 130 Liter für CH₄ und bis zu 550 Liter für H₂ wesentlich höher. Daraus ergibt sich, dass in Tonformationen Kohlendioxid die bedeutendste Gaskomponente ist und die Gasproduktion stark von der Temperatur abhängig ist.

Am Test Tube 4 (90 °C, mit ⁶⁰Co-Quelle) wurden im Berichtszeitraum keine Messungen durchgeführt.

Im Labor wurden die Messungen und die Auswertungen zur Gasentwicklung aus den verschiedenen Versatzmaterialien abgeschlossen. Hierbei hat sich gezeigt, dass Kohlendioxid das einzige Gas ist, was thermisch in bedeutenden Mengen gebildet und freigesetzt wird. Innerhalb von 1000 Tagen bei 90 °C wurden gebildet: Aus dem trockenen Boom Clay 0,95 m³ pro 1000 kg, aus den Foca Clay mit 35 % Sand und 5% Graphit 0,30 m³ pro 1000 kg und aus den Foca Clay mit 5% Glaspulver 0,06 m³ pro 1000 kg. Kohlendioxid wird offensichtlich durch die Oxidation von organischen Komponenten in Ton bzw. durch die Oxidation von Graphit gebildet. Da der reine Foca Clay sehr wenig organische Bestandteile enthält, werden aus dem Versatz Foca Clay mit Glaspulver nur geringe Mengen Kohlendioxid freigesetzt. Methan und Wasserstoff wurde aus den Versatzmaterialien nur in unbedeutenden Mengen freigesetzt.

Wasserpermeabilitätstests in den Versatzelementen von Test Tube 2 waren über den Jahreswechsel 2003/04 als Druckentlastungs- und Erholungstests durchgeführt worden. Sie ergaben Permeabilitäten für alle drei Versatztypen in der Größenordnung von 10⁻¹⁸ m². Allerdings sind die Ergebnisse für Versatz A und C nicht eindeutig, da anscheinend Gas im System war. Im Versatz B wurde ein gut belegter Wert von 4·10⁻¹⁸ m² ermittelt. Auf Probenahme beruhende Druckentlastungen und Erholungen in den 90 °C heißen Versatzelementen von Test Tube 3 konnten nicht zur Ermittlung von Permeabilitätswerten herangezogen werden, da die Druckverläufe in diesen Versatzelementen nicht auswertbar sind.

4. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der In-situ-Untersuchungen zur Gasentwicklung und Permeabilität am Test Tube 4.

Erstellung eines Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Valcke, E., Labat, E., Van Iseghem, P., Godon, N., Jockwer, N., Wiczorek, K.: CORALUS: An Integrated In Situ Corrosion Test on α -Active HLW Glass, Euradwaste '04. 29. March – 1. April 2004, Luxembourg, Proceeding im Druck

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9440	
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2000 bis 29.02.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 29.02.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 571.747,03 EUR		Projektleiter: Dr. Herbert	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mittelschwere anionisch vorliegende Radionuklide wie ^{14}C (als CO_3^{2-}), ^{129}I (als I^-), ^{79}Se (als SeO_3^{2-} oder SeO_4^{2-}) und ^{99}Tc (als TcO_3^- und TcO_4^-) werden von den derzeit diskutierten Versatzmaterialien und Deckgebirgsgesteinen nur sehr wenig zurückgehalten. Adsorption oder Fällung von Anionen finden dort nach derzeitigem Kenntnisstand nur wenig statt. In den heutigen Langzeitsicherheitsanalysen tragen diese Elemente wegen ihres ungehinderten Transportes wesentlich zur mittelfristigen Strahlenbelastung bei. In diesem Vorhaben sollen geeignete Zuschlagstoffe entwickelt werden, die unter endlagerrelevanten Bedingungen zu einer Verminderung der Iod- oder Selenkonzentration führen. Dazu werden elektrochemische, chemisorptive Kationenaustausch- und Mitfällungsprozesse an ausgewählten Materialien studiert. Für die Modellierung der dabei stattfindenden Prozesse wird die dazu notwendige thermodynamische Datenbasis ergänzt und erweitert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Auswertung von Versuchsdaten, Berechnung von Pitzer-Parametern, geochemische Modellierung von Versuchsergebnissen mit Jod und Selen, Beginn der Erstellung des Abschlussberichtes.

Die Versuchsdaten können mit den berechneten Pitzer-Parametern gut nachvollzogen werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fertigstellung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 9471
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2001 bis 31.03.2004	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 31.03.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 157.669,63 EUR	Projektleiter: Dr. Brendler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Literaturrecherche	Fortsetzung	beendet
Eingabe von Sorptionsdaten	Fortsetzung	beendet
Eingabe von Methoden + Modelle	Fortsetzung	beendet
AP4: Umformung von Reaktionen	Fortsetzung	beendet
AP6: Online-Hilfe + Manual	Fortsetzung	beendet

Im Berichtszeitraum (Werte in Klammern: Gesamtstand) wurden 11(111) Minerale, 162(875) Datensätze zu spezifischen Oberflächen, 253(1047) Protolyse- und 429(2611) Komplexbildungskonstanten neu in der DB erfasst. Das Projekt ist beendet, doch über grundfinanzierte Mitarbeiter wird versucht, zumindest die Recherche weiterzuführen, bisher sind 1438 Literaturreferenzen erfasst.

Die Arbeiten an der DB fokussierten sich auf die Erstellung der Dokumentation (Online-Hilfe und Manual), welche gleichzeitig die Basis für den Abschlussbericht zum Projekt bildet.

Die RES³T-Datenbank wurde wiederholt erfolgreich bei der Vorhersage der Sorption von Schadstoffen an Mineraloberflächen eingesetzt (siehe Veröffentlichungen unter Punkt 5), zudem wurden erste Schritte unternommen, um zu international abgestimmten und empfohlenen, qualitativ hochwertigen SCM-Parametersätzen zu gelangen. Die Export-Module (ASCII und Excel) wurden überarbeitet und die Grundlagen zu Stöchiometriematrizen für die Oberflächenreaktionen gelegt. In Vorbereitung einer künftigen Anbindung an das Internet wurde eine MySQL-Version der Datenbank erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt ist beendet, momentan werden weitere Publikationen erarbeitet und der finale Projektreport fertig gestellt. Zudem soll die Problematik in einem Folgeprojekt weiterbearbeitet werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- V. Brendler, T. Arnold, A. Richter, G. Bernhard: "Capability of Surface Complexation Models and Databases for Predicting Radionuclide Sorption", Waste Management 2004, Tucson/Arizona, 29.2.-4.3.2004
- A. Richter, V. Brendler: "Capability of SCM and RES³T Database for Blind Prediction", SOPRO 2004, Karlsruhe, 25./26.3.2004

Zuwendungsempfänger: Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover		Förderkennzeichen: 02 E 9481
Vorhabensbezeichnung: Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2001 bis 31.05.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 31.05.2004
Gesamtkosten des Vorhabens: 280.063,20 EUR		Projektleiter: Prof. Dr. Michel

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Tone als Material für geotechnische Barrieren weisen eine hohe Sorptionskapazität für kationische Schadstoffe auf. Ihre Fähigkeit, Anionen zu sorbieren ist sehr gering, kann aber wesentlich verbessert werden, wenn die anorganischen Zwischenschichtkationen gegen organische Kationen ausgetauscht werden.

Übergreifendes Ziel dieses Vorhabens ist es, ausgewählte Organo-Ton-Systeme hinsichtlich maximaler Sorptionskapazität für Anionen, maximaler Selektivität für Iodid bzw. Chromat(VI), hoher Stabilität unter simulierbaren Endlager- bzw. UTD-Bedingungen, einfacher und kostengünstiger Herstellung zu prüfen, bzw. zu optimieren.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP 4: Strukturelle Charakterisierung des Zwischenschichttraumes der Organotone
- AP 6: Sorptionsversuche mit Chromat(VI) in Abhängigkeit vom pH-Wert
- AP 7: Versuche zur Sorption von Iod an Organotonen bei Temperaturen von 20-90°C
- AP 8: Thermische Stabilität von Organotonen
- AP 10: Auswertung / Berichterstattung

AP 4: Für HDPy-, HDTMA- und BE-Smectite und Vermiculite wurde die Untersuchung der Anionenbindung an den äußeren Oberflächen der Organotone weiter ausgedehnt. Die Adsorption von Cr(VI) an den äußeren Oberflächen wurde mit dem Partikelladungsdetektor verfolgt und ein Absinken der positiven Oberflächenladung durch Adsorption von Cr(VI) festgestellt, die durch stöchiometrische Ad-

sorption bis zum Ladungsnullpunkt erfolgt. Kontaktwinkelmessungen zeigten, dass am Ladungsnullpunkt (Belegung ~ 100 % der KAK) die Hydrophobie am größten ist. Sowohl zu positiven (Belegung >100 % der KAK) als auch zu negativen Oberflächenladungen (Belegung <100 % der KAK) werden die Organotone hydrophiler. Die äußere Oberflächenladung hat großen Einfluss auf die Mikrostruktur des Tons.

AP 6: Die bereits ermittelten Adsorptionsisothermen für Cr(VI) bei pH 3, 5 und 9 für die mit HDPy, HDTMA und BE organophilisierte Tonminerale wurden geprüft und zur Absicherung der Lage der Kurvenverläufe zusätzliche Messpunkte aufgenommen. Signifikante Unterschiede in der Chromatadsorption bei den verschiedenen pH-Werten konnten so mit jeweils 11 Messpunkten herausgearbeitet werden. Für alle Organotonkombinationen in gleicher Weise tritt für pH 9 ein deutlicher Rückgang in der Sorptionskapazität ein, während die Sorptionsisothermen bei pH 3 und 5 geringe absolute Unterschiede in ihrer Sorptionskapazität aufweisen. Der Kontaktwinkel erwies sich am Ladungsnullpunkt am größten, d.h. dass hier die größte Hydrophobie vorliegt. Durch die Temperaturbehandlung kommt es offenbar zu einer stärkeren Ausrichtung der endständigen positiven Ladung der organischen Kationen zur Silicatschicht, die mit einer Positionierung der hydrophoben C-Ketten an der äußeren Oberfläche verbunden ist.

AP 7: Die Versuche zur Sorption von Iod bei Temperaturen von 20 bis 90°C wurden abgeschlossen, nachdem einige Versuchsglieder wiederholt werden mussten. Insgesamt wurde für alle Tone in Verbindung mit HDPy mit zunehmender Temperatur eine leichte Abnahme der Iod-Sorption beobachtet, die unter 10 % lag. Die beiden Smectite in Verbindung mit BE und HDTMA zeigten keine signifikanten Änderungen in der Iodisorption, die beiden entsprechenden Vermiculite wiesen Änderungen auf wie die HDPy-Tone. Nur bei allen Tönen in Verbindung mit DPyDD nahm die Iodisorption mit steigender Temperatur – einsetzend bei 50°C – deutlich ab: unter dem Einfluss von bidestilliertem Wasser um ein Drittel bis zur Hälfte, in synthetischem Bodenwasser ca. um die Hälfte bis zu zwei Dritteln. In der anderen Versuchsreihe, in der die Organotone im Trockenschrank zunächst für 72 Stunden auf Temperaturen von 40 bis 200°C erhitzt wurden, zeigte sich bei dem anschließenden Sorptionsvorgang bei Labortemperatur (22 ± 1 °C), dass für die meisten Organokation-Ton-Kombinationen eine Wirkung erst bei 120, bzw. 140 °C Vorbehandlungstemperatur eintrat. Nur bei den DPyDD-Tönen wurde wiederum früher, nämlich bei 60 bis 80°C, bereits eine Abnahme der Iodisorption in den anschließenden Batch-Versuchen beobachtet. Dabei sank die Sorptionsfähigkeit der letztgenannten bei einer Vorbehandlungstemperatur vom 200°C jedoch in keinem Fall unter ca. 35 % der Iodmenge, die bei 20°C sorbiert wurde, während die anderen Organotone bei 200°C z. T. weniger als 10 % der bei 20°C sorbierten Iodmenge festhalten konnten. Dies trifft insbesondere für die BE-Tone zu.

AP 8: Zur Untersuchung des Anstiegs der Hydrophobie bei Temperaturen im Bereich von 20-100°C wurden Kontaktwinkelmessungen nach der Wilhelmy-Plattenmethode an mit HDPy, HDTMA und BE organophilisierten Tonmineralen, die auf 20, 40, 60, 80 bzw. 100 °C erhitzt wurden, durchgeführt.

AP 10: Der Endbericht zum Projekt befindet sich noch in der Bearbeitung.

4. Geplante Weiterarbeiten

keine

5. Berichte, Veröffentlichungen

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

Zuwendungsempfänger: FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 9491
Vorhabensbezeichnung: Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2001 bis 30.09.2004	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 376.438,65 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Bernhard	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

Dazu werden modernste spektroskopische Verfahren wie Laserspektroskopie und Röntgenabsorptionsspektroskopie eingesetzt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in die Arbeitsaufgaben:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Fortführung der Arbeiten zur Optimierung der Anzucht von *Desulfovibrio äspöensis* Biomasse
- Charakterisierung der Biomasse (Lichtmikroskop und genetische Charakterisierung)
- Experimente zur Wechselwirkung von *D. äspöensis* mit Np(V) (Variation von [Np(V)] und pH)
- Beginn der Experimente zur Aufklärung der Wechselwirkungen von Pu(VI) mit *D. äspöensis*
- TRLFS des Curiums im Spurenkonzentrationsbereich mit Modellverbindungen (ATP)
- Durchführung des FZR – Äspö - Workshops im FZR vom 17.-18.05.04:

- Teilnehmer (außer FZR): Arbeitsgruppe von Prof. Karsten Pedersen, Göteborg University, Department of Cell and Molecular Biology (Karsten Pedersen, Johanna Arlinger, Anna Johnson, Craig Anderson), Arbeitsgruppe von Prof. Yngve Albinsson Chalmers University Göteborg (Yngve Albinsson, Anna-Maria Jacobsson), PtWT+E (Holger Bittdorf)
- Ziel: Auswertung dieses Projekts und Diskussion der zukünftigen Zusammenarbeit

Ergebnisse

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

AP 3 Curium: Erstmalig konnten drei Cm-ATP Spezies mittels TRLFS nachgewiesen werden. Die isolierten Spektren dieser Komplexe (Form und Emissionsmaximum) stimmen gut mit dem des Cm-*D.äspöensis*-Oberflächenkomplexes überein. Die Fluoreszenzlebensdauern sind ebenfalls vergleichbar. Dies verstärkte die Vermutung einer dominierenden Wechselwirkung des Cm mit Phosphat-Gruppen der Bakterienoberfläche.

AP 4 Neptunium: Die Versuche zeigten analog zum Uran eine starke Abhängigkeit der akkumulierten Metallmenge von der Ausgangskonzentration des Neptuniums in der Angebotslösung. Bei $[\text{Np(V)}]_{\text{Start}} = 2.14 \text{ mg/l}$ und pH 6 werden 1.121 mgNp/g Biomasse (entspricht 63 % des angebotenen Np) gebunden. Im Gegensatz dazu werden bei $[\text{Np(V)}]_{\text{Start}} = 26 \text{ mg/l}$ 3.89 mgNp/g Biomasse gebunden, was nur 10% der angebotenen Np-Menge entspricht. Uran tritt deutlich stärker mit der Biomasse in Wechselwirkung ($[\text{U(VI)}]_{\text{Start}} = 2.25 \text{ mg/l}$ bei pH 6 werden 1.826 mgU/g Biomasse, was 97 % entspricht gebunden). Bietet man in einem Versuch 2.21 mg/l Np und 2.25 mg/l U (Gesamtmenge an Actiniden: 4.46 mg/l) sollte man erwarten, dass pro Actinid weniger an der Biomasse gebunden wird, als wenn man die beiden Elemente einzeln anbietet. Das Experiment zeigte überraschend, dass ungefähr soviel Np (1.167 mg/g entspricht 63%) und U (1.826 mgU/g entspricht 97%) gebunden werden, als ob man die Elemente einzeln einsetzen würde. Aus diesen Ergebnissen könnte man vermuten, dass für Np und U unterschiedliche Bindungsplätze und/bzw. Bindungsformen an der Biomasse vorliegen. Die Bestimmung des Oxidationszustandes des Np assoziiert mit der Biomasse ist schwierig, da nur wenig gebunden wird.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Biomassegewinnung von *D. äspöensis* und mikrobiologische Charakterisierung
- Abschließende Untersuchungen zur Wechselwirkung mit Plutonium
- Erarbeitung eines Posters: *Complex Formation of Curium with Adenosine 5'-Triphosphate (ATP) Studied by TRLFS* für die internationale Konferenz NRC 6, Aachen, Deutschland (29.8.-03.09.04)
- Erarbeitung einer Publikation über die Ergebnisse *D. äspöensis* mit U(VI)
- Erarbeitung einer Publikation zur Komplexbildung von Cm(III) mit ATP
- Erstellung des Abschlussberichtes

5. Berichte, Veröffentlichungen

H. Moll, Th. Stumpf, M. Merroun, A. Roßberg, S. Selenska-Pobell, G. Bernhard: Time-resolved laser fluorescence spectroscopy study of the interaction of Cm(III) with *Desulfovibrio äspöensis* DSM 10631^T, Environmental Science and Technology 38, 1455-1459 (2004).

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9501
Vorhabensbezeichnung: Goelektrische Untersuchung der Ent sättigung 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: 01.01.2004 bis 31.05.2004	
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 und Ergebnisse

Weiterführung der geoelektrischen Feldmessungen: In der Entsättigungsphase bis Ende Januar 2004 wurden signifikante Änderungen in der Resistivitätsverteilung, die besonders deutlich in der Darstellung der Resistivitätsänderungen in Erscheinung treten, gemessen. Anhand der geoelektrischen Messungen reicht die deutlich entsättigte Zone bis zu 0,4 m in das Gebirge hinein. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit von den Projektpartnern durchgeführten Porendruckmessungen und Modellierungen, womit sich erwiesen hat, dass die gleichstromgeoelektrische Methode recht gut zur Ermittlung von Feuchteverteilungen bzw. zur Ermittlung der Ent- bzw. Aufsättigung des konsolidierten Tonstein geeignet ist.

Ende Januar 2004 wurde die geplante Wiederaufsättigungsphase mit einer Luftfeuchtigkeit von bis zu 90% begonnen. Bereits nach drei Tagen war in einer Saumzone von ca. 10 cm am Tunnelrand eine deutliche Wasseraufnahme mit Resistivitätserniedrigung zu erkennen. Die Interpretation weiterer Tomogramme wurde schwierig, nachdem die Ventilationsanlage zwischen Ende Februar und Anfang Juni 2004 mehrfach ausfiel bzw. nur mit stark schwankender Luftfeuchtigkeit betrieben werden konnte. Seit dem 11. Juni 2004 ist die Anlage nun wieder mit 90 % Luftfeuchtigkeit in Betrieb. Um für die im Anschlussprojekt vorgesehene nächste Entsättigungsphase günstige Ausgangsbedingungen zu schaffen, soll die völlige Wiederaufsättigung des Wirtsgesteins bis Mitte 2005 hergestellt werden.

Nachuntersuchungen zur Resistivitätsbestimmung: Kurz vor Ende der Entsättigungsphase wurden Ende Januar 2004 drei Kernbohrungen horizontal und mit einem Winkel von 135° nach unten in den Stoß sowie vertikal in die Sohle erstellt, um die in den Tomogrammen bestimmte Resistivitätsverteilung punktuell durch direkte Messungen an Proben zu überprüfen. Es war vorgesehen, je Bohrung 3 Proben aus dem stoßnahen sowie dem mittleren Bereich und aus dem Bohrlochtieften zu untersuchen, wobei wegen der Entfestigung des Tonsteins infolge seiner Entsättigung aus der horizontalen Bohrung keine verwendbaren Proben gewonnen werden konnten. Insbesondere im Bereich der Sohle ergab sich praktisch die gleiche Resistivitätsabnahme mit der Bohrlochtiefe, die bereits in den Tomogrammen zu erkennen war. Die entsättigte Saumzone von ca. 0,4 m wurde durch die Nachuntersuchung eindrucksvoll bestätigt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Miehe, R., Hellwald, K., Rothfuchs, T., Wiczorek, K., 2004: Post-ventilation laboratory analysis of the resistivity of the Opalinus Clay after the first ventilation phase, Deliverable 7c, Ventilation Experiment (VE) in the Mt. Terri Underground Research Laboratory

Wiczorek, K., Rothfuchs, T., 2004: Mont Terri Ventilation Test, Data Report Geoelectric Monitoring, Status as of 19 May 2004

Wiczorek, K., 2004: Application of Geoelectric Tomography for Monitoring Moisture Content and Tracer Distribution in Geotechnical Barriers and Host Rocks, Proc. Distec'04, International Conference on Radioactive Waste Disposal, April 26 – 28, 2004, Berlin Germany

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9511	
Vorhabensbezeichnung: Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2001 bis 31.10.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
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 und Ergebnisse

Mit der Bearbeitung der Randbedingungen und grundsätzlichen Aspekte für den Langzeitsicherheitsnachweis wurde begonnen.

Die Arbeiten zur Ableitung eines Safeguards-Konzeptes für ein Endlager in einer Tonformation wurden weitergeführt. Dabei wurden die Untersuchungen, die im Rahmen des Arbeitskreises Endlagerung angestellt wurden und Erkenntnisse aus dem 7th Experts Group Meeting (Juni 2004) of Safeguards for Final Disposal of Spent Fuel in Geological Repositories in Salzgitter berücksichtigt. Die Ergebnisse wurden in einem Berichtsentwurf zusammengefasst.

Ein erster Bericht-Entwurf zum Thema „Kritikalitätsbetrachtung zum Störfall – Absturz einer Brennstabkockille - in der Betriebsphase eines Endlagers in Ton“ wurde von GRS vorgelegt

In Abhängigkeit der Temperaturen, denen das Wirtsgestein in der geologischen Vergangenheit ausgesetzt war sowie einem möglichen Zufluss von Lösungen in der Nachbetriebsphase, können in Folge der Einbringung wärmeentwickelnder Abfälle geochemisch/mineralogische Prozesse induziert werden, die bei der Standortauswahl und Endlagerauslegung zu berücksichtigen sind. Im Anschluss an die Identifizierung dieser Prozesse ist bei der Bearbeitung des Themas „Aspekte der Geochemie im Hinblick auf die Langzeitsicherheit“ vorgesehen, dass Ausmaß der Wechselwirkungen und damit die Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit eines Endlagers im Ton zu beschreiben und soweit möglich zu quantifizieren.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Bearbeitung der Randbedingungen und grundsätzlichen Aspekte für den Langzeitsicherheitsnachweis und der Aspekte der Geochemie im Hinblick auf die Langzeitsicherheit wird abgeschlossen. Die zusammenfassende Bewertung und Dokumentation der Untersuchungsergebnisse für den Abschlussbericht werden beendet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9521	
Vorhabensbezeichnung: Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2001 bis 30.06.2005		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 355.414,00 EUR		Projektleiter: Dr.-Ing. Müller-Hoeppe	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: keine

AP2: keine

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

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

AP5: noch nicht begonnen

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Neu vorliegende Information in die Arbeiten einbeziehen

AP2: Untersuchung von Einzelbarrieren fortsetzen

AP3: Zusammenstellung quantitativer Daten und Bewertung von Einzelbarrieren weiterführen.

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

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

AP5: Zusammenstellung aller Ergebnisse, Dokumentation und zusammenfassende Bewertung

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

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: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 770.566,00 EUR	Projektleiter: Dipl.-Geophys. Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die ANDRA führt in Mont Terri einen Erhitzer-Vorversuch unter der Bezeichnung „Heater Experiment HE-D“ durch, an dem sich die DBE TECHNOLOGY gemäß der Vereinbarung mit ANDRA beteiligt. Im Rahmen des Versuches wurde ein faseroptisches Extensometer und eine Temperaturfaser in einer horizontalen Bohrung senkrecht zum Erhitzer installiert. Die kontinuierliche Aufzeichnung der Messwerte erfolgt seit Mitte Januar. Die Erhitzer wurden Anfang April eingeschaltet. Die Temperatur- und Verschiebungssensoren reagieren entsprechend den Erwartungen.

Parallel zur Datenerfassung erfolgt eine begleitende thermo-mechanische Modellierung des Versuches zur Verbesserung des Systemverständnisses. Im Berichtszeitraum wurde zunächst das zeitliche Verhalten der Temperatur im Gebirge simuliert und den bisherigen Messergebnissen angepasst. Die Anpassung zeigt bereits erste zufrieden stellende Ergebnisse. Um Eingangsdaten für die numerischen Modellierungen zu gewinnen, wurden die thermophysikalischen Parameter (Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, thermischer Ausdehnungskoeffizient) anhand von Kernproben im Labor bestimmt. Die Proben wurden der Bohrung entnommen, in der auch die faseroptischen Sensoren installiert sind. Insbesondere die Wärmeleitfähigkeit zeigt eine ausgeprägte Anisotropie, die im Modell entsprechend berücksichtigt wird..

Im Untertagelabor in Bure bereitet die ANDRA derzeit den ersten Versuch im Schacht (REP) vor. In einer definierten Schachtteufe wird eine Nische aufgefahren. Aus dieser Nische heraus werden Untersuchungsbohrungen in Richtung des weiter abzuteufenden Schachtes gebohrt und messtechnisch instrumentiert, um die Gebirgsantwort auf den Abteufprozess zu erfassen. Im Berichtszeitraum wurden numerische Auslegungsberechnungen durchgeführt, um das in einer der Bohrungen einzubauende faseroptische Extensometer hinsichtlich Messbereich und Auflösungsvermögen den zu erwartenden Gebirgsreaktionen anzupassen. Mit dem Bau des Sensorsystems wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung von Dokumenten zur Qualitätssicherung im Hinblick auf den Instrumentierungs-, Mess- und Wartungsablauf für den REP-Versuch in Bure. Der Beginn der Instrumentierungsarbeiten ist für November vorgesehen.

Weitere begleitende Berechnungen zur Temperaturentbreitung und zum Verformungsverhalten des Opalinustons im Rahmen des HE-D Versuches in Mont Terri. Vergleichende Analyse von Messungen und Berechnungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jobmann, M. Kreienmeier, M., Polster, M. 2004: Characterization of thermal expansion effects in a clay host rock, DisTec 2004, Berlin.

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: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.252.955,00 EUR		Projektleiter: Dr. Noseck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Standort Ruprechtov

Durchgeführte Arbeiten:

- Abschluss des Bohrprogramms (NA15)
- Beprobung aller neuen Grundwassermessstellen. Ermittlung der chemischen Zusammensetzung und des Gehalts an natürlichen Isotopen
- Überarbeitung des hydrogeologischen Modells
- Analyse von Granitproben mittels Elektronenstrahl-Mikrosonde
- Durchführung unterschiedlicher Sedimentanalysen zu ausgewählten Fragestellungen
- Weiterführende Untersuchungen zu immobilen Uranphasen

Ergebnisse:

- Der Eintrag von Uran in die Ton-/Lignitschichten in Form detritischer Monazite wurde durch U-/Th-Analysen an Monaziten in Granitproben bestätigt
- Anhand geochemischer Daten wurden die Existenz von Kluft-/Störungszonen und damit der Austausch zwischen Wässern des unterlagernden Granits und dem Tertiär bestätigt

Standort Heselbach

Durchgeführte Arbeiten:

- Tracertest innerhalb des Braunkohlehorizontes
- Permeabilitätsversuch an Braunkohlematerial
- Analytik von stabilen Isotopen, $^3\text{H}/^3\text{He}$ und Tritium in Grundwasserproben
- Sedimentcharakterisierung mittels SEM/EDX
- Erstellung eines 2D-Strömungsmodells mit dem Programm FEFLOW

Ergebnisse:

- Erste Auswertungen des Tracertests deuten - in Übereinstimmung mit den Ergebnissen stabiler Isotope - auf stagnierendes Grundwasser in der tertiären Rinne
- Die vertikale hydraulische Durchlässigkeit (k_f -Wert) des Braunkohlehorizontes ist mit $2,9 \cdot 10^{-08}$ m/s geringer als angenommen (\rightarrow Modifikation des hydrogeologischen Modells)
- Deutliche Ungleichgewichte der Aktivitätsverhältnisse ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) in sequentiell extrahierten Sedimentproben belegen einen jungen Urantransport innerhalb der letzten 200ka

4. Geplante Weiterarbeiten

- Beginn der Abschlussdokumentation

Standort Ruprechtov

- Abschließende Auswertung der Ergebnisse aus Grundwasser- und Sedimentuntersuchungen
- Aussagen für PA zum Verhalten von TOC und zur Bildung von Kolloiden am Standort Ruprechtov. Vergleich mit Prozessen in Gorleben
- Erstellung eines konzeptuellen Modells zur Entwicklung der geologischen Verhältnisse und der Urananreicherung am Standort
- Beschreibung der Uranmigration über lange Zeiträume am Standort Ruprechtov mit einfachen Modellen

Standort Heselbach

- Einsatz der In-situ-Sonde im Bohrloch HB11-03
- Abschließende Auswertung der durchgeführten analytischen Arbeiten
- $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ Messungen an Proben des Anstrombereichs (Keupersandstein)
- Grundwasserrechnungen zum 2D-Strömungsmodell am Standort Heselbach mit FEFLOW
- Durchführung von Transportrechnungen zur Uranmigration am Standort Heselbach

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9561	
Vorhabensbezeichnung: Modellentwicklung zur Quellung hochkompakter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 – 120 °C			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2001 bis 30.09.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
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 Quelldrucke

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Alle geplanten Quelldruckversuche wurden durchgeführt. Mit der Auswertung wurde begonnen. Pro Versuchsart, ein Bentonit, eine Trockendichte, eine Lösung, wurden bis zu 10 Wiederholungsversuche durchgeführt. Trotz sorgfältiger Einhaltung aller Versuchsrandbedingungen (gleiche Probenpräparation, gleiche Flutungsbedingungen, gleiche Messzellen, gleicher Bearbeiter) wurden große Schwankungsbreiten bei den gemessenen Quelldrücken festgestellt. Projektgespräche zwischen GRS und Universität Weimar (Arbeitsgruppe Prof. Schanz) haben ergeben, dass die Vorgehensweise der Quelldruckmessungen zwar geeignet sind Grundlagensphänomene wie Zusammenhänge zwischen Saugspannung, Sättigungsgrad und Quelldruck der Proben aufzuklären, jedoch nur bei der Flutung des Porenraums mit Wasserdampf. Dabei konnten in Weimar gut reproduzierbare Quelldrucke erzielt werden. Die GRS-Messungen zielen auf die Ermittlung der Quelldrucke unter In-situ-Bedingungen hin, d.h. bei lösungserfülltem Hohlraum. Dabei ergeben sich zwangsläufig größere Schwankungsbreiten der Ergebnisse, weil sich Dampf gleichmäßiger verteilt als viskose hochsalinare Lösungen. Es wurde ein gemeinsames Versuchsprogramm mit Parallelmessungen in Braunschweig und in Weimar vereinbart, um noch offene Fragen, die sich bei der Art der GRS-Versuchsführung stellen zu klären. Ob in Weimar Quelldruckmessungen mit Lösungen durchführbar sind, wird zur Zeit geprüft.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das vorgesehene Messprogramm wird vervollständigt. Es sind noch je eine Quelldruckmessung in den kleinzylindrischen Messzellen mit MX-80 mit der Rohdichte 1,6 g/cm³ und den Lösungen NaCl, IP9, IP19, IP21 und IP24 vorgesehen. Dabei wird gleichzeitig die Zwischenschichtbelegung, D-Werte und Lösungsverteilung im Porenraum ermittelt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

in Vorbereitung

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: 01.01.2004 bis 30.06.2004
Gesamtkosten des Vorhabens: 172.917,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krone

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

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

- 02E9612 -Anforderungen an die Standorterkundung für HAW Endlager im Hartgestein (ASTER) um die notwendigen Abstimmungen mit den beteiligten deutschen Partnern BGR, GRS und russischen Institutionen für die planmäßige Durchführung der Vorhaben zu treffen.

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

B.2 Untersuchungen zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen Granitformationen und

B.3 Untersuchungen zur Endlagerung hochradioaktiver und wärmeentwickelnder verglaste Abfälle in Porphyrformationen.

Darüber hinaus durchgeführt wurden im Rahmen dieses Vorhabens gemeinsame Arbeiten mit russischen Partnern zu den Projekten

B.9 Erarbeitung eines Konzeptes, Realisierungs- und Finanzierungsplanes für die industrielle Versuchsanlage zur Endlagerung radioaktiver Abfälle im Nishnekanzker Granitoidmassiv

B.8 Auswahl und Erprobung von fortgeschrittenen Verfahren zur Wirtsgesteinscharakterisierung.

Es wurden methodische Vorschläge erarbeitet für den Einsatz seismischer Erkundungsverfahren, das Niederbringen von Tiefbohrungen und der Durchführung von Bohrlochgeophysik. Ferner wurden mit den deutschen und russischen Projektpartnern die Inhalte für ein mögliches Anschlussvorhaben abgestimmt.

Im Ergebnis eines Besuches von Wissenschaftlern des Bochvar-Institutes (Moskau) beim ISR (FZJ) Ende 2003 wurden die Vorbereitungen zum Abschluss einer Zusammenarbeitsvereinbarung zu den Themenkomplexen

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

B.6 Zerstörungsfreie Messtechnik für die Bewertung von verglasten hochradioaktiven Abfällen getroffen.

Im Juni 2004 fand ein Besuch von Wissenschaftlern des Khlopin-Institutes (St. Petersburg) im INE (FZK) statt, mit dem Ziel ein gemeinsames Untersuchungsprogramm zur Relevanz von Kolloiden für Endlagerstandorte im Granit zu erörtern. Mit der Aufnahme der praktischen Arbeiten hierzu ist Anfang 2005 zu rechnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

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

Die Ergebnisse der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit zur Endlagerforschung sollen auf der VII. Internationalen Konferenz: Sicherheit bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle im September 2004 in St. Petersburg vorgestellt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

J. Krone et al.:

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

J. Krone, M. Jobmann, T. Gupalo, C. Fahrenholz, W. Brewitz, E. Fein, J. Hammer:

Deutsch-russische Zusammenarbeit zur Entwicklung eines methodischen Ansatzes für die Standortsuche und Standortauswahl in Hartgesteinsformationen, Clausthaler Kolloquium zur Endlagerung 2003, Clausthal-Zellerfeld

Auftragnehmer: IfG, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9582	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2002 bis 30.06.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 452.652,00 EUR		Projektleiter: Dr.-Ing. Kamlot	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

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

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

AP5 Auswertung und zusammenfassende Berichterstattung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die In-situ-Messungen wurden im 1. Hbj. 2004 planmäßig abgeschlossen. Die bereits in den zurückliegenden Zwischenberichten aufgeführten Schlussfolgerungen sehr geringer Gebirgsspannungsänderungen von 1 bis 3 MPa bleiben bestehen.

Die bisher vorliegenden Auswertungen bezüglich der sich verändernden Kluftpermeabilitäten müssen in Abhängigkeit von der geologischen Ausbildung des untersuchten Anhydritbereiches (kompakte Ausbildung, aufgeschlossene Carnallitkluft, Kluft ohne Salzfüllung, bitumengefüllte Druckstrukturen) überprüft und bewertet werden.

Mit mechanisch/hydraulisch gekoppelten Modellrechnungen werden gegenwärtig alle in situ beobachteten Spannungs- und Deformationszustände sowie hydraulischen Einwirkungen simuliert. Die in den Rechenmodellen ermittelten Fluidausbreitungen in den Anhydritklüften müssen anschließend hinsichtlich ihrer Relevanz auf das Barriereverhalten bewertet werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Vorhaben wurde am 30.06.2004 planmäßig abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9592	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2002 bis 30.06.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 653.234,50 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Wieczorek	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

AP 7: Auswertung und zusammenfassende Berichterstattung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1:

Die seismische Ereignisregistrierung wurde im Berichtszeitraum abgeschlossen und die mikro-seismische Anlage im Juni 2004 abgerüstet und nach Braunschweig zurück transportiert.

AP 2:

Für die geplanten Permeabilitätsmessungen wurde eine ca. 59 m lange und ca. 80° geneigte 56-mm-Bohrung bis in 433 m Teufe in den Bereich der größten Ereignishäufung gebohrt. Die Bohrung wurde mittels einer von IfG zur Verfügung gestellten Bohrlochkamera inspiziert, wobei im Anhydrit zwei vermutlich Carnallitit-gefüllte Klüfte festgestellt wurden, die Tropflaugen führen. Die Klüfte befinden sich genau im Bereich der durch die seismischen Messungen registrierten Ereignishäufungen und wurden offenbar durch die Abbauarbeiten darüber aktiviert. Dies erklärt auch den bei der Untersuchung der Herdmechanismen ermittelten häufig schubartigen Charakter der registrierten Ereignisse.

Da eine dichte Ankopplung der Permeabilitätsmesssonde direkt im Klufbereich fragwürdig schien, wurde entschieden, die Sonde oberhalb der oberen Kluft einzubauen. In diesem Bereich waren Ausblühungen festgestellt worden. Der Einbau der Sonde schlug fehl, da diese noch im Steinsalz feststeckte. Das Bohrloch wurde mit Wasser gefüllt, um die Sonde zu lösen, was erfolgreich war. In der nunmehr laugegefüllten Bohrung sollen in dem interessierenden Bereich Laugeninjektionstests zur Permeabilitätsbestimmung des Anhydrits durchgeführt werden, da Gasinjektionstests nicht mehr sinnvoll sind.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Abschließende Auswertung der seismischen Daten.

AP 2: Durchführung und Auswertung von Permeabilitätsmessungen durch Laugeninjektion im Anhydrit oberhalb einer Kluft.

AP 7: Zusammenfassende Auswertung und Erstellung des Abschlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Wieczorek, K., Miehe, M., Rothfuchs, T., "Zerstörungsfreie Messverfahren zur Charakterisierung von Endlagerwirtsgesteinen", Poster, Tage der Forschung in Braunschweig, 4. bis 6. Juni 2004

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 31.03.2005		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 671.019,00 EUR		Projektleiter: Dr. Jockwer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben (Arbeiten der GRS) untergliedert sich in:

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Aus dem Versuchsfeld wurden die in Erhitzernähe installierten Bohrlochpacker, Stahlkapillaren und die Ventilstation ausgebaut. Eine nachgehende Untersuchung im Labor hat gezeigt, dass weder die im Gebirge eingebauten Edelstahlkomponenten, die über 15 Monaten einer Temperatur von 60 °C ausgesetzt waren, noch die in der freien Stecke installierten Edelstahlkomponenten Anzeichen einer Korrosion zeigten.

Die Laboruntersuchungen an den aus dem Versuchsfeld gewonnenen Proben sind noch nicht abgeschlossen. Bisher haben sich keine signifikante Veränderung durch die Aufheizung über 15 Monate auf bis zu 60 °C gezeigt.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

Erstellung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Göbel, I., Alheid, H.J., Jockwer, N., Mayor, J.C., Garcia-Sineriz, J.L., Alonso, E., Weber, H.P., Plötze, M., Klubertanz, G., Ammon, Ch.: Results of the Laboratory and In Situ Measurements for the Description of Coupled Thermo-hydro-mechanical Processes in the Clays, Euradwaste '04. 29. March – 1. April 2004, Luxembourg, Proceeding im Druck

Göbel, I., Alheid, H.J., Jockwer, N., Mayor, J.C., Garcia-Sineriz, J.L., Alonso, E., Weber, H.P., Plötze, M., Klubertanz, G., Ammon, Ch.: Coupled Thermo-hydro-mechanical processes around a Bentonite Buffer Embedded in Opalinus Clay – Comparison between Measurements and Calculations, Euradwaste '04. 29. March – 1. April 2004, Luxembourg, Proceeding im Druck

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9612
Vorhabensbezeichnung: Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein (ASTER)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2002 bis 31.12.2004	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 572.709,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krone	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Ermittlung und Bewertung der verfügbaren Ausgangsdaten

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

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

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

AP5: Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

Die Ermittlung und Abstimmung der Ausgangsdaten hinsichtlich des endzulagernden Abfallinventars, der verfügbaren Erkundungsergebnisse und maßgeblicher Vorgaben für die Endlagerplanung wurden im Wesentlichen abgeschlossen. Bezüglich fehlender Ausgangsdaten verständigten sich die beteiligten Partner auf plausible Annahmen.

AP2:

Der Schwerpunkt der Arbeiten bestand in der Fortführung der Optimierung der thermischen Endlagerauslegung für die am stärksten wärmeentwickelnde Cs/Sr-Fraktion. Dabei war sicherzustellen, dass die Grenztemperaturen sowohl für den Bentonitbuffer (100 °C) als auch für die Glasmatrix (500 °C) nicht überschritten werden. Neben der Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Bentonits mittels Graphitzuschlag erwies sich die Variation der thermischen Parameter (Kapazität und Leitfähigkeit) des Isolationsmaterials als zielführend, in das die Abfallbehälter eingebettet werden sollen.

Im Weiteren erfolgten Variationsuntersuchungen, bei denen der Einfluss der thermischen Parameter des Wirts- und Nebengesteins auf die Größe des erforderlichen Einlagerungsfeldes betrachtet wurde.

AP4:

In Ergänzung der Arbeiten der BGR wurden Empfehlungen für die Fortführung der seismischen Erkundung, für das Niederbringen einer Erkundungsbohrung sowie für den Einsatz von Bohrlochgeophysik erstellt.

AP5:

Mit den Projektpartnern wurde der Plan für die Erstellung und Freigabe des Zwischenberichtes abgestimmt. Die Grundlage hierfür bietet der vorläufige interne Zwischenbericht, der ergänzt und vervollständigt werden soll. Mit der Erarbeitung der ersten ergänzenden Beiträge wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der verbleibende Zeitraum bis zum Abschluss des Projektes Ende 2004 soll vorrangig für die Erstellung eines zitierfähigen Abschlussberichtes genutzt werden, um die erzielten Forschungsergebnisse zu dokumentieren. Darüber hinaus sind gemeinsam mit den anderen Projektpartnern die Empfehlungen für die weitere Standorterkundung abzuleiten und abzustimmen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

J. Krone et al.:

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

J. Krone, M. Jobmann, T. Gupalo, C. Fahrenholz, W. Brewitz, E. Fein, J. Hammer

Deutsch-russische Zusammenarbeit zur Entwicklung eines methodischen Ansatzes für die Standortsuche und Standortauswahl in Hartgesteinsformationen, Clausthaler Kolloquium zur Endlagerung 2003, Clausthal-Zellerfeld.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9622	
Vorhabensbezeichnung: Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein (ASTER) AP3: Vorbereitung eines sicherheitsanalytischen Endlager- und Standortmodells			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2002 bis 31.12.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 419.395,00 EUR		Projektleiter: Dr. Fein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Vorhabens ist wie folgt unterteilt:

AP3: Untersuchungen im Granit und im Porphyry

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Vom 09.-11.02. 2004 fand in Moskau ein Arbeitstreffen mit den russischen Kollegen statt. Es war geplant den Zwischenbericht, insbesondere die Eingangsdaten für die hydraulischen Modellierungen, dort zu besprechen. Da die Überprüfung des Zwischenberichtes von Seiten des VNIPI PT nicht bis zur Projektbesprechung erfolgt war, wurde eine Stellungnahme der russischen Projektpartner erst Ende März nachgereicht. Während des Besuches hat man uns einen sehr interessanten, wenn auch kurzen Einblick in die russischen Modellierungsarbeiten gewährt. Die zuständigen Sachbearbeiter zeigten sich auch an unseren Arbeiten sowie an einer engeren Zusammenarbeit interessiert. Im Anschluss an den Moskau Besuch wurde von Seiten der GRS der Zwischenbericht überarbeitet.

In der Folgezeit wurde für den Standort Itatskij auf der Grundlage des dreidimensionalen geologischen Strukturmodells ein Profilschnitt erzeugt. Sein Verlauf folgt der, nach den ersten Rechnungen mit dem dreidimensionalen Strömungsmodell, voraussichtlichen Radionuklid-ausbreitung. Der geologische Schnitt ist etwa 2km lang und verläuft von der Wasserscheide im Westen bis in die Niederung im Osten. Er enthält dabei mehrere sich verschneidende Klüfte. Dieser Profilschnitt diente als Basis für die Erstellung eines zweidimensionalen Strömungs- und Transportmodells. Es wurden diverse Parametervariationen durchgeführt. Zudem wurden ansatzweise die Auswirkungen des natürlichen Wärmegradienten untersucht.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Modellarbeiten und die Erstellung des Abschlussberichtes müssen zur Übersetzung ins Russische bereits Ende September abgeschlossen sein. Die im Zwischenbericht dokumentierten Modelle werden in der Zwischenzeit mit den von russischer Seite übermittelten Daten überarbeitet. Zusätzlich ist geplant das dreidimensionale Strömungsmodell zu einem Transportmodell zu erweitern und den natürlichen Wärmegradienten einzuarbeiten. Im Anschluss erfolgen eine eingehende Überarbeitung des Zwischenberichtes sowie die Dokumentation der zusätzlich durchgeführten Arbeiten. Für den Abschlussbericht werden die erreichten Ergebnisse im Hinblick auf die Langzeitsicherheit bewertet und Empfehlungen für die weitere Standorterkundung und -auswahl ausgesprochen.

Für Ende August 2004 ist ein Arbeitstreffen in Deutschland und für November 2004 ein weiteres Treffen in Moskau geplant.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Fahrenholz, C.; Schöniger, M.:

Strömungs- und Transportmodellierung im Hartgestein im Hinblick auf die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Russland. Vortrag im Rahmen des Wasy-Anwendertreffens vom 14.-16.06.2004, Köln.

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: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 777.912,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Beschaffung von Bohrkernmaterial aus folgenden Lagerstätten: Konrad, Schacht 1/2, Deutschland (Kernlager BGR); Mont Terri, Schweiz (NAGRA, BLT-7/8/9); Bure, Frankreich, (ANDRA, 3 Bohrkernproben, laufende Verhandlungen über die Bereitstellung von weiterem Probenmaterial); Tournemire, Frankreich, (ANDRA, laufende Verhandlungen über die generelle Bereitstellung von Probenmaterial),

- Konstruktion und Bau von Prüfständen für triaxiale Langzeitversuche mit Dilatanz- und Ultraschallwellenmessung (Testphase erfolgreich abgeschlossen, geplante Inbetriebnahme 3.Quartal 2004),

Laborative Untersuchungen an Tonstein der Lokation Mont Terri:

- 1.Zwischenbericht „Gesteinsmechanische Untersuchungen an Tonstein der Lokation Mont Terri“ (Ermittlung von Kriechparametern, Bruchfestigkeitsparametern),
- Abschluss einer ersten Versuchsreihe zum Feuchtigkeitsänderungsverhalten an Tonstein unter definierten labortechnischen Bedingungen, Planung und Durchführung weiterer Versuche vor dem Hintergrund vorangegangener Laborergebnisse,
- Planung und Durchführung weiterer TC-/ TCC-Versuche auf der Grundlage ermittelter Laborergebnisse der vorangegangenen Versuchsreihe,
- Abschluss einer ersten Scherversuch-Testreihe, Planung und Durchführung weiterer Scherversuche entsprechend der Aufgabenstellung,

Laborative Untersuchungen an Tonstein der Lokation Konrad:

- Abschluss einer ersten TC-Testreihe, Planung und Durchführung weiterer Versuche entsprechend der Aufgabenstellung,
- Abschluss einer ersten TCC-Testreihe, Planung und Durchführung weiterer TCC-Versuche auf der Grundlage ermittelter Laborergebnisse der vorangegangenen Versuchsreihe,
- Abschluss einer ersten Scherversuch-Testreihe, Planung und Durchführung weiterer Scherversuche,

Laborative Untersuchungen an Tonstein der Lokation Bure:

- Planung und Durchführung einer laborativen Testreihe, Auswertung der durchgeführten laborativen Untersuchungen, Zusammenfassung der Ergebnisse in einem Zwischenbericht „Rock mechanical investigation into rock material (claystone) from the location Bure / France – 1. Interim Report“,
- Modifizierung des im Rahmen der Schädigungsmechanik entwickelten Stoffmodells *Hou/Lux* zur Anwendung auf Tongesteine,
- Übertragung des HM-Kopplungskonzepts zur Beschreibung der geomechanisch-geohydraulischen Wechselwirkungen im Tragwerk auf Tongestein,
- Implementierung des Stoffmodellansatzes für Tonstein und HM-Kopplung in MISES3,
- Erweiterung des FEM-Programmsystems MISES3 zur graphischen Darstellung der Permeabilitätsänderung im Rahmen der hydromechanischen Kopplung,
- Zusammenstellung von in der Literatur angegebenen Referenzbeispielen für die Analyse des Tragverhaltens von „Modelltragwerken“ zur Validierung des Stoffmodellansatzes,
- Durchführung und Auswertung von ersten numerischen Modellberechnungen mit aus der Literatur abgeleiteten Eingabeparametern (Testmodell Schacht Konrad, Testmodell Bure),
- Durchführung von weiteren Verifikations- und Validationsberechnungen anhand von Literaturangaben sowie eigenen laborativen Untersuchungsergebnissen mit Eingabeparametervariation (Testmodell Schacht Konrad),
- Erweiterung der numerischen Modellierung für die Analyse des Tragverhaltens von „Modelltragwerken“ auf das FDM-Programmsystem FLAC3D,
- Durchführung von ersten Verifikations- und Validationsberechnungen (Testmodell Schacht Konrad).

4. Geplante Weiterarbeiten

- Beschaffung von weiteren Tonsteinproben der Lokation Bure und Tournemire in Frankreich (ANDRA) sowie aus Mont Terri in der Schweiz (NAGRA),
- Inbetriebnahme der geplanten Prüfstände für triaxiale Langzeitversuche mit Dilatanz- und Ultraschallwellenmessung,
- Abschluss der laufenden gesteinsmechanischen Laborversuche an Tonstein der Lokationen Mont Terri und Konrad, Zusammenfassung der Ergebnisse in einem weiteren Zwischenbericht, Planung und Durchführung weiterer Versuche,
- Planung und Durchführung weiterer gesteinsmechanischer Versuche an Tonstein der Lokationen Bure und Tournemire entsprechend der Aufgabenstellung/Probenverfügbarkeit,
- Durchführung von weiteren Verifikations- und Validationsberechnungen (Testmodell Schacht Konrad, Testmodell Bure, Testmodell Mont Terri),
- Herausarbeitung grundsätzlicher numerischer Erfahrungen im Tonsteingebirge durch Stoffmodell-/ Parametervariation.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55099 Mainz		Förderkennzeichen: 02 E 9653
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 322.376,00 EUR	Projektleiter: Dr. Trautmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten zur off-line Kopplung der Kapillarelektrophorese mit der Lasermassenspektrometrie (RIMS) wurden begonnen. Die Experimente zur Bestimmung der Komplexbildungskonstanten von Pu(IV) mit Aldrich-Huminsäure bei verschiedenen Metallionenkonzentrationen wurden fortgesetzt und auf höhere pH-Werte (2,5 und 3) ausgedehnt. Weiterhin wurden erste Versuche zur Redoxkinetik des Plutoniums mit Gorleben-Fulvinsäure GoHy 573 durchgeführt. Der Einfluss der Urankonzentration, des pH-Wertes, der An- bzw. Abwesenheit von CO₂ auf die Sorption von Uran(VI) an Kaolinit sowie die dabei gebildeten Oberflächenkomplexe wurden in Batchversuchen bzw. mittels EXAFS-Spektroskopie untersucht.

Die CE-RIMS Kopplung ist möglich, wie Versuche mit Plutonium gezeigt haben. Hierzu werden die Proben nach der Auftrennung mit der Kapillarelektrophorese in Fraktionen gesammelt und das Plutonium vor der RIMS-Messung elektrolytisch abgeschieden. Die Ergebnisse von CE-ICP-MS und die Bestimmung des Pu-Gehaltes in den verschiedenen Fraktionen durch α -Spektroskopie stimmen gut überein. Die Komplexbildungskonstanten von Pu(IV) mit Aldrich-Huminsäure bei pH 2,5 und 3 schwanken - wie schon bei pH 1,8 - stark. Dies deutet darauf hin, dass es sich hier nicht um eine reine Komplexbildung handelt, sondern verschiedene andere Prozesse, wie z.B. die Mitfällung des Plutoniums an der unter diesen Bedingungen ausfallenden Huminsäure, die Hydrolyse und Kolloidbildung des Pu(IV) etc. zu berücksichtigen sind. Ein Einfluss des bei den Experimenten verwendeten Puffers MES auf die Komplexbildung konnte mit einer dafür ausgelegten Versuchserie ausgeschlossen werden. Um die Nebenreaktionen zu minimieren, wurde deshalb bei niedrigen pH-Werten Fulvinsäure statt Huminsäure verwendet.

Die mit EXAFS ermittelten axialen und äquatorialen Sauerstoffabstände, $U-O_{ax}$, $U-O_{\text{äq}}$, sowie die U-Si Abstände können mit einer innersphärischen Sorption des Urans an die Siliziumtetraeder des Kaolinites erklärt werden. In Gegenwart von CO_2 vergrößert sich der mittlere $U-O_{\text{äq}}$ Abstand von 2,32 auf 2,38 Å, wenn der pH-Wert von 5 auf 8,5 erhöht wird. Dagegen beträgt bei pH 8,5 und Ausschluss von CO_2 der $U-O_{\text{äq}}$ Abstand 2,32 Å. Dieser starke Carbonateinfluss auf die Nahordnung des sorbierten Urans deutet auf die Ausbildung von ternären Oberflächenkomplexen mit Carbonat im alkalischen pH-Bereich.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten zur off-line Kopplung CE-RIMS sollen fortgeführt und in den nächsten Monaten zum Abschluss gebracht werden. Weiterhin soll die CE-ICP-MS um einen Diodenarray-Detektor erweitert und ein geeignetes Elektrolytssystem für die CE-LIF Messungen entwickelt werden. Arbeiten zur Bestimmung der Hydrolysespezies des Pu(IV) in Abhängigkeit des pH-Wertes werden in Zusammenarbeit mit dem FZK-INE durchgeführt. Die Arbeiten zur Redoxkinetik des Plutoniums mit Fulvinsäure sollen fortgeführt und die Komplexbildungskonstanten der „stabilen“ Oxidationsstufen des Plutoniums mit Gorleben-Fulvinsäure bestimmt werden.

Nachdem in Zusammenarbeit mit dem Institut für Radiochemie des Forschungszentrums Rossendorf die Durchführung von Batchversuchen im System Actinid/Kaolinit für U(VI) validiert wurde, soll die Sorption mit Np(V) an Kaolinit als Funktion der Neptuniumkonzentration und des pH-Wertes untersucht werden. Weiterhin soll in einem Machbarkeitsexperiment an der ESRF festgestellt werden, inwieweit trotz der - wenn auch geringen - Zirkoniumverunreinigung im Kaolinit KGa-1b EXAFS-Experimente zur Speziation des Neptuniums durchführbar sind.

5. Berichte, Veröffentlichungen

N. Trautmann, G. Passler, K.D.A. Wendt: Ultratrace Analysis and Isotope Ratio Measurements of Long-lived Radioisotopes by Resonance Ionization Mass Spectrometry (RIMS), *Anal. Bioanal. Chem.* **378**, 348 (2004)

C. Grüning, G. Huber, P. Klopp, J.V. Kratz, P. Kunz, G. Passler, N. Trautmann, A. Waldek, K. Wendt: Resonance Ionization Mass Spectrometry for Ultratrace Analysis of Plutonium with a New Solid State Laser System, *Int. J. Mass Spectrometry* **235**, 171 (2004)

T. Reich, S. Amayri, J. Drebert: Uranium Sorption on Kaolinite, Abstract of the Papers of the American Chemical Society **227** NUCL-16 (2004)

Zuwendungsempfänger: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9663
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Entwicklung und Einsatz von Radiotracern für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 371.126,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kupsch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Status der Arbeitspakete:

- AP 1: Beprobung und Aufarbeitung von aquatischen Huminstoffen (Hochmoor Kl. Kranichsee)
- AP 3: Charakterisierung der Mischaggregation von Huminstoffen und amphiphilen Fremdorganika ($\log P_{O/W}$ -Messungen mit ^{131}I -markierter Huminsäure, HPSEC)
- AP 4: Untersuchungen zur Auswirkung der Mischaggregation auf das Adsorptionsverhalten an Kaolinit (Radiotracerexperimente mit ^{131}I -markierter Huminsäure)
- AP 5: Vermessung der pH-Abhängigkeit der Adsorption von Tb(III) in An- und Abwesenheit von Huminsäure an Kaolinit und Granit; Modellierung anhand der pH-Abhängigkeiten von Huminsäureadsorption und Tb-Humatkomplexbildung; Adsorptionskinetik Huminsäure / Kaolinit (Radiotracerexp. mit ^{131}I -markierter Huminsäure u. ^{160}Tb)

Ergebnisse:

Insbesondere im Kaolinit-System wird das Mobilisierungspotential von Huminstoffkolloiden gegenüber freigesetzten Actiniden (hier repräsentiert durch ^{160}Tb)Tb(III) als Analogtracer) durch die ausgeprägte pH-Abhängigkeit der Kolloid-Matrix-Wechselwirkung relativiert. Zwar wird die Fest-Flüssig-Verteilung des Metalls bereits bei geringen DOC-Konzentrationen stark überprägt, doch führt dies erst oberhalb einer pH-Schwelle von 6,5 zu einer Verschiebung des Adsorptionsgleichgewichtes hin zur mobilen Phase. Da dieser Übergangspunkt oberhalb des Pufferbereichs von Kaolinit liegt (pH 4 - 5), ist die Gefahr einer Unterwanderung der Barrierefunktion durch organische Kolloide relativ gering. Im Granit-System erfolgt der Übergang bereits im schwach sauren Milieu (pH ~ 5), allerdings ist der Effekt der DOC-Präsenz hier weitaus geringer. Das unterschiedliche Verhalten konnte durch eine Modellierung anhand der pH-Abhängigkeiten aller maßgeblichen Teilprozesse reproduziert werden.

Huminstoffkolloide bilden mit niedermolekularen organischen Stoffen Mischaggregate mit veränderten hydrophilen / hydrophoben Eigenschaften, abhängig von der Exposition der Fremdkomponenten im Assoziat. Die Charakterisierung der Wechselwirkungsmechanismen am Beispiel verschiedenartiger Tenside wurde durch weitere Messreihen zur Octanol-Wasser-Verteilung sowie durch Adsorptionsversuche an Kaolinit erhärtet. Die Aggregatbildung wirkt sich auf die Fest-Flüssig-Verteilung der Kolloide offenbar nur geringfügig aus. Die Abtrennung von niedermolekularen DOC-Komponenten bei der präparativen Isolierung von Huminstoffen führt demnach nicht zu wesentlichen Veränderungen im Adsorptionsverhalten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Methodische Vorarbeiten für PET-Untersuchungen des kolloidgetragenen Actiniden-transportes in geogenen Matrices (^{18}F oder ^{124}I zur Huminstoffmarkierung, ^{86}Y als Analogtracer für An(III), Stabilitätsuntersuchungen ersatzweise mit ^{90}Y ; Vorbereitung des Versuchsaufbaus)
- Untersuchung der Auswirkung von Fremdorganika sowie von $\text{Fe}^{2+/3+}$ - und SO_4^{2-} -Ionen auf das Komplexierungsvermögen von Huminstoffen gegenüber ^{160}Tb)Tb(III) als Analogtracer für An(III)

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: FZR, Bautzner Landstraße 128, 01314 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 9673
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 352.156,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Bernhard	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Die Huminsäuren (HS) Typ M1 und M42 wurden in An- und Abwesenheit von Kaolinit KGa-1b unter variierenden experimentellen Bedingungen (Variation der Ausgangskonzentrationen) synthetisiert. Neben den HS wurden Kaolinit-Huminstoff-Sorbate isoliert und charakterisiert. In Abhängigkeit von den Synthesebedingungen beeinflusst die Kaolinit-Gegenwart die Eigenschaften der gebildeten HS (Elementzusammensetzung und Struktur). Die isolierten Kaolinit-Huminstoff-Sorbate weisen Huminstoff-Gehalte von ca. 14 mg/g (Typ M1) bzw. 20 mg/g (Typ M42) auf.
- In Batchexperimenten wurde die HS-Sorption sowie der Einfluss von HS auf die U(VI)-Sorption am Kaolinit KGa-1b in Anwesenheit von CO₂ untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die HS-Sorption sowohl vom pH-Wert als auch von der HS-Konzentration abhängig ist. Ein signifikanter Einfluss von HS auf die U(VI)-Sorption am Kaolinit wurde bestimmt. In Gegenwart von HS nimmt die U(VI)-Sorption bei pH-Werten < pH 5 zu. Zwischen pH 5 und pH 8.5 bedingt die Anwesenheit von HS eine Abnahme der U(VI)-Sorption am Kaolinit. Die beeinflussende Wirkung der HS auf die U(VI)-Sorption ist vor allem auf die pH-Abhängigkeit der HS-Sorption und die U(VI)-Humatkomplexierung zurückzuführen.
- In Gegenwart synthetischer HS Typ Cat-Gly mit ausgeprägten Redoxeigenschaften bzw. in Gegenwart von Aldrich HS wurde die Redoxstabilität von Np(V) in Abhängigkeit vom pH-Wert (pH 3.5 bis 9.0) untersucht. Für die HS Typ Cat-Gly wurde mit steigendem pH-Wert eine Zunahme der Np(V)-Reduktion beobachtet. Im Vergleich zu Aldrich HS zeigt diese eine höhere Reduktionskapazität.
- Diffusionszellen zur Untersuchung der HS-Diffusion im Laborsystem Kaolinit KGa-1b - Wasser wurden aufgebaut und mit 0.01 M NaClO₄ konditioniert. Derzeit erfolgen Porositätsbestimmungen mit HTO als konservativen Tracer.
- Die Komplexierungsdatenbank wurde bezüglich weiterführender Experimente und der Weiterentwicklung des Ladungsneutralisationsmodells ausgewertet. Kritische Datenlücken wurden identifiziert (gemischte Ligandenkomplexe, Humatkomplexierung vierwertiger Actinide sowie wichtiger Konkurrenzionen in natürlichen Wässern (Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺)). Erforderliche Versuchsreihen zur Actinid-Humat-Komplexbildung wurden abgeleitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Charakterisierung der in Gegenwart von Kaolinit synthetisierten HS und Kaolinit-Huminstoff-Sorbate in Zusammenarbeit mit dem INE
- Erarbeitung von Verfahren zur Präparation stickstoffhaltiger Modell-HS und deren spektroskopischer Charakterisierung
- Fortführung der Untersuchungen zur Np(V)-Redoxstabilität in Gegenwart von HS
- Untersuchung der U(IV)-Komplexierung durch Huminstoffe
- Fortführung der U(VI)-Sorptionsuntersuchungen am Referenz-Kaolinit KGa-1b unter CO₂-Ausschluss; Untersuchung der Sorptionskinetik im System U(VI)-HS-Kaolinit
- Vergleichende Untersuchungen zur U(VI)-Sorption im System Kaolinit-HS-Wasser sowie Kaolinit-Huminstoff-Sorbat (Syntheseprodukt)-Wasser
- EXAFS-Untersuchungen an U(VI)-HS-Kaolinit-Sorbaten im Vergleich zu den von der Universität Mainz durchgeführten Untersuchungen am binären System U(VI)-Kaolinit
- Untersuchung des Diffusionsverhaltens der HS Typ M42 im Laborsystem Kaolinit KGa-1b - Wasser; Einsatz ¹⁴C-markierter synthetischer HS M42
- Laufende Aktualisierung der digitalen Huminstoff-Komplexierungs-Datenbank

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66041 Saarbrücken		Förderkennzeichen: 02 E 9683
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 260.584,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Beck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In vorhergehenden Projekten wurden saline geologische Formationen im Hinblick auf ihre Eignung als Endlagerstätten untersucht. In dem o. a. Forschungsprojekt soll nun die Möglichkeit der Endlagerung in Tonformationen überprüft werden.

Stellvertretend für radiotoxische Nuklide wird die Kinetik der Komplexbildung der Lanthaniden Eu und Gd mit Huminsäure untersucht. Dabei wird auch der Einfluss von Konkurrenzreaktionen wie Ca oder Mg, die in natürlichen Gewässern immer präsent sind, berücksichtigt.

Aus der Literatur ist bekannt, dass neben der Kinetik der Interaktion von Metall und Huminsäure unter natürlichen Bedingungen zusätzlich der Einfluss von kolloidal gebundenem Metall beachtet werden muss. Diese komplexen Vorgänge spielen im Hinblick auf eine Bewertung der Endlagersicherheit eine große Rolle, da das kolloidal gebundene Metall geologische Schichten ohne nennenswerte Retardation durchdringen kann. Eines der wichtigsten Ziele des Projektes soll daher die Entwicklung einer geeigneten Speziationsanalytik sein. Diese muss in der Lage sein, kinetische Informationen in dem komplexen System aus Metall, Huminsäure und anorganischem Kolloid zu liefern.

Von den in diesem Verbund tätigen Institutionen haben wir eine besondere thematische Nähe und Kooperation mit folgenden Einrichtungen: Institut für Nukleare Entsorgung des FZKA; Institut für Radiochemie des FZR; Institut für Kernchemie der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz; Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung in Leipzig und dem Institut für Physikalische Chemie der Universität Potsdam.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Der im Projektverbund verwendete Kaolinit KGa-1b wurde mit den folgenden analytischen Methoden charakterisiert: TG, DTA, XRF, XRD, IR. Außerdem wurde die PEC analog zur Mehlich-Methode bestimmt. Die erhaltenen Ergebnisse geben Aufschluss über die in weiteren Versuchen zu erwartenden Ergebnisse und erlauben die Abschätzung der einzusetzenden Huminsäure- und Metallkonzentrationen in wässrigen Kaolinit-Suspensionen.
- Die Wechselwirkung zwischen Huminsäure und Kaolinit wurde mittels NPOC-Messungen im Hinblick auf kinetische und thermodynamische Aspekte untersucht. Die für die Huminsäure-Adsorption erforderliche Kontaktzeit bis zur Gleichgewichtseinstellung wurde in Abhängigkeit der Ionenstärke an NaClO_4 ermittelt. Die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht sich mit steigender Ionenstärke. Bei sinkenden pH-Werten nimmt die Adsorption zu, ebenso bei steigender Ionenstärke.
- Untersuchungen zum Einfluss der Kaolinit-Vorbehandlung auf die Auflösung des Minerals ergaben teilweise hohe Konzentrationen an freiem Aluminium je nach pH-Wert und Ionenstärke. Hier sind sowohl niedrige als auch hohe pH-Werte in Verbindung mit hohen Ionenstärken größer $0,01 \text{ mol/l}$ als kritisch einzustufen. Mit einer erheblichen Beeinflussung der Sorptionsexperimente mit anderen dreifach positiv geladenen Metallen ist zu rechnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im Vordergrund steht im nächsten Berichtszeitraum die Installierung und Validierung der CE-ICP-MS-Kopplung sowie die Anschaffung eines optischen Detektors (LIF) für die Probendetektion bei der Kapillarelektrophorese. Dazu werden momentan verschiedene Eu-Komplexe/Puffersysteme hinsichtlich ihrer Eignung für die Untersuchung des Systems Schwermetall-Huminsäure mittels CE-LIF getestet und optimiert.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- Investigations on the Complexation Behaviour of Humic Acids and their Influence on the Migration of Radioactive and Nonradioactive Substances under Conditions close to Nature; Final Report; Prof. Dr. H.P. Beck; Prof. Dr. H. Wagner; Dr. T. Gottfreund; Dr. M. Zeitz; Wiss. Berichte FZKA, Forschungszentrum Karlsruhe, 2003, im Druck.
- Zeitz, M. (2003): Untersuchungen zur Verteilung von toxischen Schwermetallen im System: Schwermetall, Huminsäure und Seesand unter natürlichen Bedingungen. Dissertation, Universität des Saarlandes.
- Nowotka, K. (2004, im Druck): Kinetische und Thermodynamische Untersuchungen im System Huminsäure/Kaolinit. Diplomarbeit, Universität des Saarlandes.

Zuwendungsempfänger: TU München, Arcisstraße 21, 80290 München		Förderkennzeichen: 02 E 9693
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 327.328,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Rösch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

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

Bezug zu anderen Vorhaben:

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Komplexe von Carbonsäuren und alternativer Funktionalitäten mit Actiniden

AP2: Huminstoff-Modelle

AP3: Methodische Arbeiten

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1.1: Langkettige Carbonsäuren, Neptunylkomplexe

AP 1.2: Glykolsäure, Vergleich verschiedener Koordinationsmoden von Uranyl

AP 1.3: Uranyl-Komplexierung mit alkoholischen Gruppen

In AP 1.1 wurde die Abhängigkeit der Eigenschaften eines bidentaten Uranyl-Carboxylat-Komplexes von der Länge des Carboxylates am Beispiel einfacher aliphatischer Säuren in der Gasphase untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass für mehr als 3 Kohlenstoffe (Buttersäure) keine nennenswerten Variationen der Komplexgeometrie mehr auftreten. Die beobachteten

Trends zu sinkender Ladung des Uranyls und sinkender Streckenschwingungsfrequenz mit wachsender Kettenlänge der Säure setzen sich in sehr schwacher Form auch weiter fort.

Neben Uranyl wurde auch mit Berechnungen zu Komplexen von Neptunyl begonnen. Der Vergleich von Np(VI) und Np(V) erlaubt einen engen Anschluss an die für U(VI) erhaltenen Ergebnisse. Erste Resultate in der Gasphase für das Monoacetat zeigen erwartungsgemäß nur geringe Unterschiede zwischen U(VI) und Np(VI). Aufgrund der Aktinidenkontraktion weist Np(VI) einen etwas geringeren Radius auf; dies spiegelt sich in den Strukturergebnissen konsistent wieder. Np(V) zeigt gegenüber Np(VI) eine auf ein Drittel verringerte Ladung im Komplex und um etwa 0.1 Å verlängerte Bindungslängen zum Acetat. Die systematische Erweiterung dieser Ergebnisse auf weitere Säuren sowie um Solvatationseffekte ist derzeit in Arbeit. Darüber hinaus wird mittels aufwendigerer Methoden der Einfluss der Spin-Bahnwechselwirkung in den Neptunylkomplexen untersucht. Die bisherigen skalarrelativistischen Rechnungen zeigen für Np(VI) bzw. Np(V) zusätzlich ein bzw. zwei lokalisierte f-Elektronen im Vergleich zu U(VI). Damit sind keine großen Effekte der Spin-Bahn-Wechselwirkung auf geometrische Parameter zu erwarten; allerdings muss der Einfluss auf Energien untersucht werden.

Die Reihe der bisher untersuchten Carbonsäuren zur Charakterisierung der Variation der Uranylkomplexierung wurde um eine detaillierte Behandlung der Glykolsäure erweitert (AP 1.2). Für mono- und bidentate Koordination der Carboxylgruppe wurden mit einfachen aliphatischen Säuren vergleichbare Resultate erhalten: Die bidentate Koordination ist in der Gasphase leicht energetisch bevorzugt, was in Lösung durch eine unterschiedliche Zahl von Wasserliganden ausgeglichen wird, so dass hier mono- und bidentate Koordination ähnlich stabil sind. Denn der Unterschied in der Bindungsenergie entspricht etwa der Bindungsenergie eines Aqua-Liganden. Auch für den hier erstmals untersuchten Chelatkomplex mit der OH-Gruppe des Glykolats wurde eine sehr ähnlich Bindungsstärke erhalten. Auch wenn geometrische Charakteristika der verschiedenen Koordinationsmoden qualitativ mit dem Experiment übereinstimmen, bleiben jedoch Unterschiede in den absoluten Bindungslängen, die zum Teil mit der schwierigen Charakterisierung der Proben sowie einer generellen leichten Überschätzung von Bindungslängen in EXAFS erklärt werden können. Eine Publikation der bisherigen Resultate zu UO_2OOCR^+ , $\text{R} = \text{H}, \text{CH}_3, \text{CH}_2\text{CH}_3$ wird vorbereitet.

Mit Berechnungen zur Koordination von Uranyl an alkoholische Gruppen wurden kürzlich die Arbeiten zu AP 1.3 aufgenommen. Zunächst werden verschiedene einfache aliphatische Alkohole sowie Phenol in der Gasphase verglichen, wobei für deprotonierte Alkohole ähnliche Bindungsenergien wie für Carboxylate gefunden wurden.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1.1: Erweiterung auf Carboxylatkomplexe von Np(VI) und Np(V), Spin-Bahn-Effekte.

AP 1.2: Vergleich weiterer Uranyl-Carboxylate in verschiedenen Koordinationen.

AP 1.3: Uranyl-Alkoholate

5. Berichte, Veröffentlichungen

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

Zuwendungsempfänger: Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 69047 Heidelberg		Förderkennzeichen: 02 E 9703
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 243.084,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Grunze	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zur Klärung der komplizierten Photodynamik der Huminsäure sind intensive Gespräche mit dem Kooperationspartner Universität Potsdam geführt worden. Da der Projektpartner erst im April dem Verbundprojekt beigetreten ist, stehen gemeinsame Untersuchungen noch aus.

Eine Grundlage, um das Komplexbildungsverhalten von Humin- sowie Fulvinsäuren mit Actiniden zu untersuchen, bildet das Verständnis der Temperaturabhängigkeit der indirekten Cm(III)-Anregung in Gegenwart von Huminstoff hinsichtlich sowohl der Verschiebung des Excitationsspektrums als auch der Intensität der Emission. Aus diesem Grund wurden Untersuchungen zur Unterscheidung zwischen direkter und indirekter Anregung von Curium in Gegenwart von diversen Fulvinsäuren und PAA durchgeführt. Die jeweilige Art der Anregung des Curiums, entweder durch Energietransfer vom organischen Ligand auf das Actinidion oder durch direkte Excitation, konnte aufgeschlüsselt und quantifiziert werden.

Das im Rahmen des Projektes angeschaffte Schwingquarzsystem wurde mittlerweile in Betrieb genommen. In ersten Testmessungen mit Makromolekülen konnte die Eignung des Systems zum zeitaufgelösten Studium von Adsorptionsprozessen bestätigt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Quenchraten von Huminsäure und Fulvinsäure soll bestimmt werden. Mit Kenntnis der diskreten Quenchbeiträge der Humin- und Fulvinsäure zum Gesamtquenchen der Curium-Fluoreszenzemission sollte es möglich sein, die Koordination des Curiums zu bestimmen. Die Unterscheidung zwischen den das Actinidion umgebenden Wassermolekülen und den gebundenen organischen Liganden eröffnet erstmals die Möglichkeit, die Komplexbildung von Actiniden mit Huminstoffen mechanistisch zu verstehen. Die Adsorptionsexperimente mit dem Schwingquarzsystem sollen nun auf Huminsäure ausgedehnt werden, um die Menge sorbierter Spezies gravimetrisch zu quantifizieren und charakterisieren.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Es liegen noch keine Veröffentlichungen vor.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9713	
Vorhabensbezeichnung: Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager, - SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor, Vorprojekt			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2003 bis 31.12.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
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 wasser-gesättigten Zustand und die Zweiphasenflussparameter in Wechselwirkung mit dem umgebenden Gebirge untersucht. Zum Test der Einbring- und Verdichtetechniken werden in einem Technikum entsprechende Vorversuche durchgeführt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zur Qualifizierung von Ton/Sand-Mischungen als Dichtmaterial gehören Untersuchungen zur Bestimmung der initialen Gaspermeabilität, der Aufsättigungsverhaltens (Dauer und Sättigungsverteilung in Abhängigkeit vom Injektionsdruck), des Quelldrucks und der resultierenden Wasserpermeabilität sowie des Gasdurchbruchdrucks bei Vollsättigung und der effektiven Gaspermeabilität nach Gasdurchbruch. Für die Modellierung des Aufsättigungsverhaltens wurden Untersuchungen zur Bestimmung der Saugspannungen durchgeführt.

Zur Einschätzung des zeitlichen Verlaufs der Aufsättigung wurden im Vergleich zur drucklosen Aufsättigung sowie zur Erweiterung der Datenbasis weitere Messungen an Ton/Sand-Mischungen 35/65 und 50/50 mit erhöhtem Injektionsdruck vorgenommen. Die Herstellung der Proben erfolgte mit den aus Rüttelversuchen abgeleiteten Einbaudichten von ca. $1,9 \text{ g/cm}^3$ (35/65) und $1,7 \text{ g/cm}^3$ (50/50). Bei einem Injektionsdruck von 1 MPa ergaben sich praktisch identische Wasserpermeabilitäten von $3,6\text{E-}18 \text{ m}^2$ (35/65) bzw. $1,5\text{E-}18 \text{ m}^2$ (50/50). Bei den Gasdurchbruchdrücken wurde hingegen ein deutlicher Anstieg mit zunehmendem Tongehalt von 1,1 MPa auf ca. 2,6 MPa mit relativ hoher Fließrate ermittelt. Die effektiven Gaspermeabilitäten nach dem Gasdurchbruch ergaben sich im Mittel zu $1,4\text{E-}17 \text{ m}^2$ (35/65) und zu $5,9\text{E-}18 \text{ m}^2$ (50/50). Untersuchungen zum drucklosen Aufsättigungsverhalten zeigten, dass nach 90 Tagen in allen Proben (35/65, 50/50, 70/30) annähernd die gleiche Sättigungsverteilung vorhanden war. Bei Anwendung eines Injektionsdrucks von 1 MPa waren hingegen Unterschiede hinsichtlich der Dauer bis zum Wasserdurchbruch, die mit höherem Tonanteil deutlich zunahm, festzustellen. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass sowohl im Technikum als auch in situ von akzeptablen Aufsättigungsdauern ausgegangen werden kann.

Für die Modellierungen ist die Ermittlung der Saugspannungen in Abhängigkeit vom Wassergehalt erforderlich. Untersuchungen zur Wasseraufnahme an Ton/Sand-Schüttungen 35/65, 50/50 und 70/30 bei unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten ergaben bei den Proben mit höheren Tongehalten eine höhere Wasseraufnahme. Für alle Proben waren die Saugspannungen mit Werten um 240 MPa bei den geringsten Wassergehalten am höchsten und bei den höchsten Wassergehalten mit ca. 0,7 MPa am niedrigsten. Bei gleichen Wassergehalten nahmen die Saugspannungen mit steigendem Tongehalt zu.

Insgesamt entsprechen die bis dahin erzielten Ergebnisse den an die Dichtmaterialien gestellten Anforderungen und lassen einen erfolgreichen Einsatz erwarten. In den Technikumsversuchen werden zunächst die Ton/Mischungen 35/65 und 50/50 verwendet und deren Wirksamkeit überprüft.

4. Geplante Weiterarbeiten

Auffahrung der Versuchsnische im Mont Terri Untertagelabor, alle weiteren Projektarbeiten werden im Hauptprojekt weiter geführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

C.-L. Zhang, T. Rothfuchs, N. Jockwer, K.-P. Kröhn, R. Mieke, H. Moog (2004): Results of Laboratory Investigations on Clay. - International Conference on Radioactive Waste Disposal, April 26 – 28, 2004, Berlin Germany

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9723
Vorhabensbezeichnung: Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.063.543,00 EUR		Projektleiter: Dr. Moog

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

EQLINK: Arbeit an einer Datenbasis zur Berechnung von Lösungsdichten. Als Grundlage dient der Ansatz von Shock und Helgeson (1988). Eine Erweiterung dieses Modells geschieht zunächst für gesättigte Lösungen der ozeanischen Salze, für die viele Dichtedaten in Herbert (2000) vorliegen. Die Berechnung der Dichte erfolgt polytherm. Zur Zeit wird geprüft, inwieweit das entwickelte Modell kompatibel mit der Datenbasisstruktur von CHEMAPP ist.

Literatur:

Shock, E. L.; Helgeson, H. C. (1988): Calculation of the thermodynamic properties and transport properties of aqueous species and equation of state predictions to 5 kb and 1000 °C, Geochimica et Cosmochimica Acta (52), 2009-2036.

Herbert, H. -J. (2000): from: Zur Geochemie und geochemischen Modellierung hochsalinärer Lösungen mineralischer Rohstoffe, Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte, Reihe D, Heft SD1, ISBN 3-510-95845-4.

CHEMAPP: Einbau der Parameter alpha-1 und alpha-2 in die Datenbasis-Struktur.

EMOS: Die Schnittstelle zwischen CHEMAPP und LOPOS/GRAPOS wurde festgelegt. Dies betrifft den Datentransfer und die Aufgabenverteilung, d.h. welche Berechnungen in welchem Programm durchgeführt werden. Volumenbilanzen werden in LOPOS ermittelt. Die Konzeptentwicklung zur Weiterentwicklung des Moduls LOPOS wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

EQLINK: Fertigstellung der Datenbasis zur Berechnung von Lösungsdichten. Es wird geprüft, welcher Aufwand notwendig ist, um Kompressibilitätskoeffizienten in die Datenbasis einzubauen. Dies würde Rechnungen bei höheren Drücken erlauben, wie sie durch Konvergenz und Gasfreisetzung im Nahfeld eines Endlagers auftreten können. Ferner liegen weitere Daten für Radionuklidphasen des INE vor, die in die Datenbasis eingebaut werden sollen.

CHEMAPP: Möglichkeit der Variation von Gibbs-Energie-Parametern zur Laufzeit. Erweiterung des Quellcodes von CHEMAPP, um Reaktionen mit Wasserverbrauch numerisch und thermochemisch korrekt zu Ende führen zu können.

EMOS: Fortführung der Konzeptentwicklung für das Modul LOPOS. Vorbereitung der Programmänderungen an LOPOS. Beginn der Konzeptentwicklung für die Weiterentwicklung des Moduls GRAPOS.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9733
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2003 bis 30.06.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 748.584,00 EUR	Projektleiter: Dipl.-Geophys. Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- 2.1: Zur Herstellung eines realitätsnahen Bezugs der Berechnungen beziehen sich alle Untersuchungen auf die Tonformationen in Deutschland, die potenziell für einen Endlagerstandort geeignet erscheinen. Laut Aussagen der BGR kommen dafür in erster Linie die Unterkreide-Tone im Niedersächsischen Becken sowie die Jura-Tone, hier im speziellen der so genannte Opalinuston, im Süddeutschen Molassebecken in Frage. Nach Absprache mit BGR erfolgte die Festlegung von zwei Referenz-Modellgebieten in Süd- und Norddeutschland. BGR sagte Unterstützung bei der Festlegung von geologischen Referenzprofilen zu.
- 2.2: Für das Referenzgebiet in Süddeutschland wurden die notwendigen thermophysikalischen Parameter des potenziellen Wirtsgesteins und der umliegenden Sedimente zusammengestellt. Aus Daten zur regionalen Temperaturverteilung im Untergrund konnten minimale und maximale Temperaturgradienten für das Modellgebiet ermittelt werden. Daten zum Buffermaterial (Bentonit) und zur Wärmeleistung unterschiedlicher Behältertypen vervollständigten das konzeptuelle Modell.
- 2.3: Im Berichtszeitraum erfolgte eine Umsetzung des konzeptuellen Modells in ein numerisches Computermodell. Durch Testrechnungen konnte der Funktionsnachweis erbracht werden. Basierend auf dem Konzept der Bohrlochlagerung wurde als erstes ermittelt, welche Zwischenlagerzeiten für verschiedene, zur Endlagerung vorgesehene Behältertypen (HAW-Kokille, Brennstabkokille mit Uran- bzw. Uran/MOX-Brennelementen) mindestens eingehalten werden müssen, um eine Überhitzung der technischen Barriere Bentonit (Grenztemperatur 100°C) zu vermeiden.
- 2.7: Die in 2003 durchgeführten Arbeiten sowie deren Ergebnisse wurden in einem internen Jahresbericht zusammenfassend dokumentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Für das Modell „Süddeutschland“ werden die Abstände der einzelnen Behältertypen innerhalb einer Bohrung optimiert sowie die Mindestabstände einzelner Bohrungen zueinander berechnet, so dass auch durch die thermische Überlagerung der Wärmequellen eine Verletzung des Grenzkriteriums vermieden wird.

Für das Modell „Norddeutschland“ werden die noch fehlenden thermophysikalischen Gesteinsparameter ermittelt. Dies geschieht anhand von Literaturdaten oder durch Messungen an Bohrkernmaterial aus der Unterkreide. Ein repräsentativer Temperaturgradient wird aus regionalen Temperaturdaten ermittelt und ein konzeptuelles Modell erstellt. Dieses wird anschließend in ein numerisches Computermodell umgesetzt und getestet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9743	
Vorhabensbezeichnung: Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2003 bis 30.06.2008		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 544.748,00 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geophys. Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zu 2.2: Temperature-Buffer-Test (TBT)

Der Temperature-Buffer-Test ist ein Erhitzerversuch im Maßstab 1:1, bei dem zwei Behälter in einer kurzen vertikalen Bohrung im Granit eingelagert werden. Der untere Behälter ist mit Bentonit umgeben, der obere zunächst mit einer Sandschicht und dann mit Bentonit. In jeweils einem horizontalem Messquerschnitt, etwa in der Mitte der Behälter, sind faseroptische Sensoren zur Messung von Totaldruck, Porenwasserdruck und Temperatur eingebaut. Im Laufe des Versuches werden Temperaturen von 180°C in der Nähe der Behälteroberfläche erreicht.

Im Berichtszeitraum erfolgte eine kontinuierliche Erfassung und Dokumentation der Messparameter.

Zu 2.3: Parallel zur Messdatenerfassung wurde ein entsprechendes numerisches ComputermodeLL des Versuches erstellt. Es erfolgten erste Modellberechnungen zur thermischen Entwicklung des Versuches auf Basis vorgegebener Erhitzerleistung und Materialparameter für Sand, Bentonit (MX80) und umgebenden Granit. Erstes Ziel ist es, die thermische Entwicklung im Versuch und im Modell in weitestgehende Übereinstimmung zu bringen, so dass die thermischen Verhältnisse im Modell mit zufrieden stellender Genauigkeit beschrieben und somit auch prognostiziert werden können.

Zu 2.2: Prototype Repository

Das Prototype Repository ist ebenfalls ein Erhitzerversuch im Maßstab 1:1 bei dem Wärmequellen in mehreren kurzen vertikalen Bohrungen entlang einer Versuchsstrecke eingelagert werden. Auch hier sind in einer der Bohrungen faseroptische Sensoren in zwei Messquerschnitten eingebaut.

Im Berichtszeitraum erfolgte eine kontinuierliche Erfassung und Dokumentation der Messparameter. In diesem Versuch werden maximale Temperaturen von 100°C in der Nähe der Behälteroberfläche erreicht.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Kontinuierliche Erfassung und Analyse der Messdaten in beiden Versuchen.
- Regelmäßige Überprüfung und Wartung des Mess-Systems.
- Weiterentwicklung des numerischen ComputermodeLLs zur versuchsbegleitenden Modellierungen der thermo-hydro-mechanischen Prozesse innerhalb des Buffer-Materials.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9753
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracern		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2003 bis 31.07.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 413.581,00 EUR	Projektleiter: Dr. Richter	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Batchtests zum Tracerverhalten des mit ^{58}Co markierten $\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$ -Komplexes an verschiedenen granitischen Verwitterungsprodukten
- Autoradiographische Bestimmung der Adsorptionskoeffizienten und der Verteilung des Tracers an den Mineraloberflächen der Verwitterungsprodukte
- Ergebnisse: Tracerverhalten weitgehend konservativ, mit einer nennenswerten Sorption in den natürlichen Granitspalten ist nur zu rechnen, wenn Bauxit in höherer Konzentration vorliegt
- Anpassung der Hochdruckversuchsanlage für Messungen an Granitbohrkernen
- Hardware- und Softwareweiterentwicklung der PET- Messtechnik

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortsetzung der Tracertests
- Tracereperimente zum Wassertransport in granitischen Bohrkernen
- Hardware- und Softwareweiterentwicklung der PET- Messtechnik
- PET-Messungen zur Untersuchung von lokalem Transportprozessen im kompakten Granit

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: TU München, Arcisstraße 21, 80290 München		Förderkennzeichen: 02 E 9763
Vorhabensbezeichnung: Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2003 bis 31.10.2006		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004
Gesamtkosten des Vorhabens: 491.930,00 EUR		Projektleiter: Dr. Kim

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

1. Inkorporation von Actiniden (An) in Aluminosilicat(HAS)-Kolloiden

- *Einfluss der Kinetik auf die An(III)-Kolloid-Bindungsstärke*

Aus unserer früheren Arbeit geht hervor, dass vollständiger Einbau von Am(Cm)(III) in der Struktur vom Aluminosilicat-Kolloiden in statu nascendi nur möglich ist bei erhöhtem pH (> 7) und bei erhöhter Si-Konzentration (> 2×10^{-3} M) und verknüpft ist mit der Anwesenheit von Si-Polysilanol, das nachgewiesenerweise eine 10^6 -fache höhere Affinität für Al hat als Si-Monosilanol. Die Frage, ob Si-Polysilanol in transientem Zustand, generiert bei niedrigem pH (z.B. pH 5) und bei niedriger Si-Konzentration (< Sättigung) durch kurzfristigen Erhalt des polymerisierten Si-Zustandes beim Übergang von Über- zu Untersättigung, ebenfalls in der Lage ist, An(III) vollständig in den Kolloiden zu integrieren, wurde mittels TRLFS an Cm untersucht.

Es wurde nachgewiesen, dass die Anwesenheit einer katalytisch wirkende Si-Oberfläche, auch bei saurem pH und niedriger Si-Konzentration in Anwesenheit von Al und Cm, die Inkorporationsstärke von Cm in den HAS-Kolloiden begünstigt. Eine vollständige Cm-Inkorporation in den Kolloiden bei pH 5 wird jedoch nur nach einer gewissen Pseudokolloid-Alterungszeit erreicht. Die notwendige Konditionierungszeit nimmt ab bei zunehmender Konzentration an Si-Polysilanol. Dieses Ergebnis ist wichtig im Zusammenhang mit der Übertragbarkeit unserer Ergebnisse auf umweltrelevante Bedingungen, wie untersättigte Si-Konzentration oder das Vorhandensein von Si-Oligomeren, z. B. durch dispersive Verwitterung von Quarzsand.

- *Einfluss von Huminsäure auf die Inkorporation von An(III) in der kolloidalen Phase*

Parameterbedingungen, die keine Inkorporation von Am bzw. keine HAS-Kolloidbildung erlauben (z.B. sehr niedrige Si-Konzentration, Si/Al-Konzentrationsverhältnis = 10, pH 7), wurden ausgewählt, um den Effekt von Huminsäure auf die Inkorporation von Am in der kolloidalen Phase zu untersuchen.

Durch radiometrische Methoden gekoppelt mit Ultrafiltration wurde gezeigt, dass sowohl das Inkorporationsmuster als auch die Inkorporationskinetik von Am in der kolloidalen Phase des Gemisches Si, Al, Am, Huminsäure, von der Reihenfolge der Zugabe der Komponenten abhängt. Dieser Effekt reflektiert unterschiedliche In-

korporationsmechanismen bzw. verschiedene Am-Kolloid-Spezies. Zur Zeit wird geprüft, ob diese Beobachtung anhand von der Laser-Excitationsspektroskopie bestätigt werden kann. Unterschiedliche Cm-Excitationsspektren werden erwartet, abhängig davon ob die Anregung von Cm direkt ist (Cm als Aquoion oder HAS-gebunden), oder indirekt über Anregung von Huminsäure und Energieübertragung von Huminsäure auf Cm (Cm als Huminsäure-Komplex gebunden) erfolgt.

- *Inkorporation von An(VI) in Aluminosilicat-Kolloiden in statu nascendi*

HAS-Kolloide wurden durch Conucleation von Al mit Monosilanol bzw. Polysilanol in Anwesenheit von Tracermengen $^{233}\text{U(VI)}$ synthetisiert und die U-Aktivitätsverteilung in der ionischen, kolloidalen und festen Phase in Abhängigkeit vom pH und nach verschiedenen Konditionierungszeiten (bis zu 35 Tagen) radiometrisch bestimmt. Das Verhalten von U im Beisein von HAS-Kolloiden in statu nascendi wurde mit dem Verhalten von U allein, U in Anwesenheit von Al und U in Anwesenheit von Monosilanol bzw. Oligosilanol verglichen.

Aus den genannten Experimenten kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass U(VI) in HAS-Kolloiden in statu nascendi mit der Zeit (einige Tage) eingebaut wird und dabei, ähnlich wie Th(IV), das Polymerisationsverhalten von Si folgt bevor es eine Bindung mit Al eingeht.

2. Actinide in kolloidalem Zustand durch Eigenkolloidbildung

Die Hypothese, dass eine heterogene Nukleation auf der Basis von Elementen unterschiedlicher Oxidationsstufe für die Kolloidbildung von anorganischen Elementen allein, und für Actinide insbesondere, notwendig ist, wird weiter untersucht. Am Beispiel Eu(III)-Th(IV) wird mittels LIBD (Laser-induzierte Breakdown-Detektion) die Bildung und Stabilisierung von „Europio-thoronat-Kolloide“ in einem breiten pH-Bereich und nach Analogie mit Aluminosilicat-Kolloiden verfolgt. Diese Experimente erfordern eine Arbeit in ultrareinen Systemen. Grund dafür ist die geringe Löslichkeit der Actiniden und die entsprechend geringe Konzentration der generierten Actinid-Kolloide. Ubiquitäre System-Verunreinigungen sind ohne spezielle Maßnahmen in Konzentrationen vorhanden, die mit den relevanten Actinid-Konzentrationen vergleichbar sind bzw. interferieren. Z.B. wird zur pH-Einstellung elektrolytisch reduziertes Na^+ statt NaOH, das ein hoher Breakdown-Probability-Untergrund verursacht, verwendet. Endgültige Ergebnisse sind demnächst zu erwarten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- *AP(I) und AP(II):*

Erfassung der Bedingungen der maximalen Inkorporation von drei-, vier-, fünf- und sechswertigen Actiniden bzw. Eigenkolloiden in Aluminosilicat-Kolloiden, auch unter natürlichen Bedingungen. Der Einfluss begleitender Elementer (Kationen, anionische Liganden) sowie von organischen Bestandteilen wird mit einbezogen.

- *AP(III):*

Stabilitätstests und Desorptionskinetiken an stabil, in Aluminosilicat-Kolloiden inkorporierten Actiniden bzw. Eigenkolloiden werden durchgeführt. Langzeitversuche ohne und unter Zusatz von stark komplexierenden Liganden wie EDTA werden eingesetzt. Verschiedene Geomatrices werden ausgewählt um die Kolloidstabilität weiter zu prüfen mit dem Ziel, die maximale Actinid-Kolloid Migration für das representative Beispiel Aluminosilicat-An(III, IV, V, VI)-Kolloide in verschiedenen Aquifersystemen zu modellieren.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- [1] M.A. Kim, P.J. Panak, J.I. Yun, J.I. Kim, R. Klenze, K. Köhler: „Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi, Part I: Generation and Characterization of Actinide(III)-Pseudocolloids“; Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 216 (2003) 97-108.
- [2] P.J. Panak, M.A. Kim, J.I. Yun, J.I. Kim: „Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi, Part II: Spectroscopic Speciation of Colloid-borne Actinides (III); Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 227 (2003) 93-103.
- [3] M.A. Kim, P.J. Panak, J.I. Yun, A. Priemyshev, J.I. Kim: „Interaction of Actinides with Aluminosilicate Colloids in Statu Nascendi, Part III: Colloid Formation from Monosilanol and Polysilanol“; Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, in press.
- [4] M.A. Kim, P.J. Panak, J.I. Yun, A. Priemyshev, J.I. Kim: “Interaction of tetravalent Actinides with Aluminosilicate Colloids: Generation of Th-Pseudocolloids”, in preparation.
- [5] M.A. Kim, P.J. Panak, J.I. Yun, A. Priemyshev, J.I. Kim: “Interaction of Actinides with Aquatic Colloids and Generation of Actinide Pseudocolloids”; Annual Rep. BMWA (2003).

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9773	
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2003 bis 30.06.2006		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.015.143,00 EUR		Projektleiter: Dr. Zhang	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Laboruntersuchungen

Die TM-Triaxialversuche wurden an neun Tonproben aus dem HE-D-Versuchsfeld bei unterschiedlichen Manteldrücken von 1 bis 8 MPa und Temperaturen von 20 bis 116°C unter undrainierten Bedingungen durchgeführt. Die Druckfestigkeit nimmt von ca. 7 MPa auf 20 MPa bei Erhöhung des Manteldrucks von 1 bis 8 MPa zu. Die Temperaturerhöhung bewirkt eine deutliche Abnahme der Steifigkeit und Festigkeit des Tonstein. Bei konstantem Manteldruck von 3 MPa nimmt die Festigkeit von ca. 20 MPa bei 20°C auf bis zu 5 MPa bei 116°C ab. Bei den Untersuchungen wurde der thermische Ausdehnungskoeffizient zu $3.4(\pm 0.4) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ bestimmt. Die geplanten THM-Oedometer- und Triaxialversuche und auch vier zusätzliche Axialkriechversuche bei hohen Temperaturen wurden gestartet. Die Vorbereitungen zur Durchführung des großen THM-Versuchs in der MTS-Prüfanlage wurden abgeschlossen.

In-situ-Messungen

Im HE-D Versuchsfeld wurden die initialen Porenwasserdrücke und Gebirgstemperaturen an 11 Messstellen vor und nach dem Einschalten der Erhitzer registriert und ausgewertet. Vor der Aufheizung lag der maximale Porenwasserdruck bei 1.2 MPa und die Gebirgstemperatur zwischen 14 und 15°C. Nach Start der Aufheizung am 6. April 2004 wurde das Gebirge in einer Entfernung von 1 m zum Erhitzer auf 24°C erwärmt und der Porenwasserdruck stieg auf maximal 2.2 MPa an. Die Verteilung des Porenwasserdrucks und der Temperatur im Bereich des Erhitzers weisen deutlich auf eine strukturelle, parallel zur Schichtung orientierte Anisotropie hin.

Die Installationen für die Bestimmung der Gasmigration wurden abgeschlossen. Die Messintervalle wurden mit einem Überdruck von 0.9 MPa aufgepumpt. Die Gasdrücke in den Mess- und Kontrollintervallen werden über eine Datenerfassungsanlage kontinuierlich registriert. In den Messintervallen kam es vor Aufheizbeginn zu einer geringen Druckabnahme infolge Gasausbreitung im Porenraum des Gebirges. Seit Aufheizbeginn steigt der Druck in den Mess- und Kontrollintervallen leicht an. Ursache hierfür sind vermutlich Bohrlochkonvergenz, Gas- und Wassereintritt in die Intervalle sowie Temperaturerhöhung.

4. Geplante Weiterarbeiten

- (a) Fortführung der Oedometer-, Triaxialversuche und Kriechversuche
- (b) Starten und Durchführung des ersten großen THM-Versuchs in der MTS-Prüfanlage
- (c) Fortführung der In-situ-Messungen der Porenwasserdrücke und Temperaturen
- (d) Fortführung der In-situ-Gasdruckmessungen und Injektion von Tracergasen zur Erfassung der Gasdiffusion
- (e) Prognoserechnung für den HE-D-Versuch

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9783
Vorhabensbezeichnung: Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 31.12.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 475.000,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Brewitz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum (1. Halbjahr 2004) wurden neben weiteren vorbereitenden technischen Arbeiten insbesondere Teilleistungen aus AP2 (Erarbeitung von Einzelbeiträgen und Hauptkapiteln) erbracht. Erste Textversionen der Kapitel „Gesteinsbildende und -verändernde Prozesse“, „Sedimentgesteine“ und „Magmatische Gesteine“ wurden fertig gestellt und mit BMWA sowie PtWT+E diskutiert und abgestimmt. Zu den Kapiteln 6 (Wirtsgesteine), 7 (Technische Verfahren, z. T.) und 9 (Sicherheitsnachweise) wurden Detailgliederungen erarbeitet und zu behandelnde Stichworte festgelegt. Sämtliche Dokumente (incl. einer Arbeitsanweisung) sind auf einer gemeinsam zu nutzenden QuickPlace-Kommunikations-Plattform eingestellt. Zur Verwaltung der Handbuch-spezifischen Literatur-Zitate wurde ein geeignetes Literatur-Datenbankprogramm ausgewählt und installiert. Darüber hinaus wurden Kontakte zu externen Fachleuten aufgenommen, die im Rahmen des Vorhabens unterstützend mitwirken sollen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die weiteren Arbeiten erfolgen i. w. im Rahmen der Arbeitspakete 1 und 2. Für weitere Handbuch-Kapitel werden Detailgliederungen zusammen mit dem Öko-Institut erarbeitet. Für das 2. Halbjahr 2004 sind außerdem erste Textversionen zu folgenden Teilkapiteln vorgesehen:

- 3 Strahlenschutzaspekte und langfristige Risiken
 - 3.2 LZS-bezogene Anforderungen an die Abfälle
- 6 Wirtsgesteine
 - 6.3 Klassifikation der Wirtsgesteine
 - 6.5 Felduntersuchungen
 - 6.6 Untertagelabors
- 8 Sicherheitsrelevante Gesteins-/Formationseigenschaften
 - 8.4 Gebirgsverhalten
 - 8.5.5 Gasbildung im Endlager
- 9 Sicherheitsnachweise für geologische Endlager
 - 9.4 Langzeitsicherheitsanalysen

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Elisabethenstraße 55-57, 64283 Darmstadt		Förderkennzeichen: 02 E 9793
Vorhabensbezeichnung: Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 31.12.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 475.000,00 EUR	Projektleiter: Sailer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Vorbereitende Technische Arbeiten

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

AP2: Erarbeitung von Einzelbeiträgen und Hauptkapiteln

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

AP3: Arbeiten zur Drucklegung und Herausgabe

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im ersten Halbjahr des Jahres 2004 wurden neben weiteren vorbereitenden technischen Arbeiten insbesondere Teilleistungen aus AP2 erbracht. Es wurde eine Textversion des Kapitels 5 fertig gestellt, die mit BMWA sowie PtWT+E diskutiert und abgestimmt wurde. Textversionen im Entwurfsstadium wurden von den Kapiteln 2.1, 2.2, 3.1, 7.2 angefertigt. Von den Kapiteln 2.3, 3.3, 4.1, 4.2, 4.3, 6.1, 6.5, 6.6, 7.6, 8.5.3, 9.3.2 wurden stichpunktartige Kurzbeschreibungen verfasst. Sämtliche Dokumente sind auf der gemeinsam genutzten Kommunikations-Plattform "Quick-Place" eingestellt. Die Arbeiten an den Kapiteln 7.1, 7.4, 8.2, 8.3, 9.1, 9.2, 9.4.3 - 9.4.5 wurden bereits ebenfalls größtenteils begonnen, sind aber noch nicht über Quick-Place erhältlich. Zudem wurde eine Glossar-Datenbank erstellt, in die erste Begriffe eingefügt wurden.

Außerdem wurden die ersten Kontakte zu ausgewählten externen Fachleuten aufgenommen und um deren Unterstützung bei der Bearbeitung und Qualitätssicherung der einzelnen Kapitel gebeten.

4. Geplante Weiterarbeiten

Bis zum nächsten Arbeitstreffen Anfang Oktober 2004 ist vorgesehen, die Kapitel 2.1, 2.2, 3.3.1, 3.3.2, 7.6, 7.1 und eventuell die Kapitel 3.1 und 8.3 als Textversion fertig zu stellen. Auch an den übrigen Kapiteln soll kontinuierlich weitergearbeitet werden. Für die Kapitel 3, 7, 8 und 9 sind für August bis Oktober 2004 Abstimmungsgespräche zur gemeinsamen Erstellung einer Detailgliederung mit der GRS geplant.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		Förderkennzeichen: 02 E 9803
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2003 bis 31.10.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 691.684,00 EUR	Projektleiter: Dr. Curtius	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP2: Remobilisierung von Radionukliden aus Korrosionsrückständen

AP3: Sorptions- und Inkorporationsuntersuchungen mit endlagerrelevanten Radionukliden an Hydrotalkiten

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Beschaffung und Montage von Autoklavsystemen zur Durchführung von Korrosionsexperimenten mit bestrahltem Kernbrennstoff ist erfolgt.

Aufbau von Versuchseinrichtungen zur Durchführung von Korrosionsexperimenten mit unbestrahltem Kernbrennstoff unter gleichen Versuchsbedingungen sind abgeschlossen.

AP2: Versuchsaufbau in der Heißen Zelle zur Remobilisierung von Radionukliden aus den Korrosionsrückständen wurde abgeschlossen und die Versuche haben begonnen.

AP3: Mg/Al-Cl-Hydrotalkit wurde synthetisiert und analytisch charakterisiert. Sorptionsuntersuchungen mit Tc-99 wurden durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Einbau der Autoklavsysteme in den Heißen Zellen und Durchführung von Korrosionsexperimenten mit bestrahltem Brennstoff in endlagerrelevanten Wässern.

Start der Korrosionsexperimente mit unbestrahltem Kernbrennstoff.

AP2: Probenahmen und analytische Auswertung.

AP 3: Die Sorptionsuntersuchungen werden auf weitere endlagerrelevante Radionuklide ausgedehnt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

eingereicht und angenommen:

H. Curtius, D. Wellens, R. Odoj,

Sorption of Technetate on Mg-Al-Layered Double Hydroxide, Sixth International Conference on Nuclear and Radiochemistry, NRC 6, 29. August bis 3. September, Aachen , Germany,

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9813
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2003 bis 31.01.2007	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 813.232,00 EUR	Projektleiter: Dr. Rübel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

Im Arbeitspaket 2 werden die Rechenprogramme verifiziert und validiert. Dazu werden die Vergleiche mit analytischen Rechenfällen durchgeführt. Weiterhin werden zum einen natürliche Spurenstoffverteilungen an den Standorten Benken und Mont Terri und zum anderen Bohrlochversuche aus dem Untertagelabor Mont Terri modelliert.

Im Arbeitspaket 3 wird basierend auf dem Endlagerkonzept aus dem Forschungsvorhaben GEIST eine Systemstudie durchgeführt. Dabei werden mögliche Szenarien definiert und ein Referenzfall festgelegt. Mit Hilfe der neu entwickelten Rechenprogramme werden für das generische Endlager Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit durchgeführt. Durch Parametervariationen sollen Unsicherheiten bezüglich des Radionuklidtransportsermittelt werden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die Konzeptentwicklung für die Weiterentwicklung des Moduls GRAPOS zu dem neuen Modul CLAYPOS wurde begonnen. Die Anforderungen an das weiterentwickelte Programm wurden diskutiert und definiert.
Die Konzeptentwicklung für die Weiterentwicklung des Moduls CHETMAD wurde abgeschlossen. Dabei wurden die notwendigen Parameter und Eingangsdatenformate zur Verwendung elementspezifischer Diffusionskoeffizienten und Porositäten in der Matrix festgelegt. Besonderer Wert wurde auf die Rückwärtskompatibilität mit den alten Versionen von CHETMAD gelegt.
Die Weiterentwicklung des Moduls CHETMAD zur Version 3.0 wurde begonnen. Dabei wurden die Bereiche des Quellcodes identifiziert, für die eine Änderung notwendig wird.
- AP 2: Ausrichtung und Teilnahme an einer Sitzung zur Planung des Bohrloch-Diffusionsexperiments DR am Mont Terri. Durchführung von Diffusionsrechnungen mit GRAPOS zur Bestimmung von Auslegungsparametern des Experiments.
- AP3: Informierende Diskussion mit der DBE über die Ziele des Projekts TONI im AP3 und die vorliegenden oder zu erwartenden Ergebnisse der Projekte GEIST und Genesis als Grundlage für die durchzuführende Sicherheitsanalyse.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1:

- Fertigstellung der Konzeptentwicklung und Beginn der Programmentwicklung am Modul CLAYPOS.
- Fertigstellung der Programmentwicklung des Moduls CHETMAD.
- Übertragung der Änderungen am Code CHETMAD auf den Code CHETMADCOL zur Berücksichtigung des kolloidgetragenen Radionuklidtransports.
- Beginn der Entwicklungsarbeiten am Modul r³t.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9824
Vorhabensbezeichnung: Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2004 bis 30.06.2007	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 191.444,00 EUR	Projektleiter: Dr. Jockwer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Forschungsbergwerk Asse sollen im Salzgestein, das für die Endlagerung radioaktiver Abfälle repräsentative ist, um Hohlräume unterschiedlichen Alters (neu angelegt, etwa zwei bis fünf Jahre alt, etwa 20 Jahre alt) in Abhängigkeit von der Stoßentfernung der advektive und diffusive Gastransport, der advektive Laugentransport und der Grad der Auflockerung und deren Anisotropie ermittelt werden. Durch diese Messungen erhält man Informationen der zeitlichen und örtlichen Entwicklung der Auflockerungszone und die Größe der hydraulischen Parameter für Gas und Lauge in diesem Bereich.

Daten zur Auflockerungszone im Salzgestein werden für die Auslegung und den Bau von Dämmen, Abschlussbauwerken und Bohrlochverschlüssen im Endlager für radioaktive Abfälle benötigt.

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben untergliedert sich in:

- Gasinjektionstests zur Bestimmung der Gaspermeabilität
- Tracertests mit Gasen unter Atmosphärendruck zur Bestimmung der Gasdiffusion
- Laugeninjektion zur Bestimmung der Laugenpermeabilität
- Geoelektrische Widerstandsmessungen zur Erfassung der Permeabilitätsanisotropie

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Forschungsbergwerk Asse wurde in Zusammenarbeit mit dem Betrieb ein Versuchsort auf der 800 m Sohle ausgewählt und die notwendige Herrichtung sowie Ausstattung festgelegt. Für den Versuchszeitraum wurden das Versuchskonzept festgelegt und die notwendigen Komponenten zusammengestellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Erteilung eines Auftrages an den Betrieb des Forschungsbergwerkes Asse zur Herstellung des Versuchsfeldes.
- Beschaffung und Zusammenstellung der Messkomponenten.
- Installation der Komponenten an einen neu erstellten Hohlraum.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9834	
Vorhabensbezeichnung: Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen - LUVEAT			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2004 bis 31.12.2007		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 216.140,00 EUR		Projektleiter: Dr. Zhang	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Im Rahmen des EU-Projektes NF-PRO wird die GRS in Abstimmung mit den Projektpartnern ein Arbeitsprogramm in der großen MTS-Pressen im GRS-Labor an großen Tonkernen mit Zentralbohrungen unter relevanten hydromechanischen Bedingungen durchführen. Es werden die Auffahrung, Ventilation und Verfüllung von Schächten, Bohrlöchern und Strecken simuliert, wobei sich die Entstehung sowie die Entwicklung der Auflockerungszone im Tonkern infolge der Beanspruchung und schließlich die Heilung der ALZ nach der Verfüllung und Aufsättigung des Verfüllmaterials im Bohrloch beobachten lässt.

Mit dem Vorhaben werden die vorhandenen Grundlagen und Methoden für die Vorhersage der Dichtwicklung von Tonsteinbarrieren gegenüber schadstoffbelasteten Fluiden verbessert und weiterentwickelt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Entwicklung und Erprobung eines Versuchssystems
- Vorversuche zur Entwicklung/Verheilung der ALZ in gelochten Tonkernen mit D/d/L = 100/20/200 mm
- Hauptversuche zur Entwicklung/Verheilung der ALZ in großen gelochten Tonkernen mit D/d/L = 260/80/600 mm
- Modellrechnungen der Laborversuche

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zur Untersuchungen der Entwicklung und Heilung der Auflockerung in großen gelochten Tonkernen wurde ein Laborversuchsplan erstellt und ein Versuchsverfahren entwickelt. Die gelochte Kernprobe wird sowohl von einem Innen- als auch einem Außenjacket ummantelt, so dass Gebirgsdruck und innerer Versatzdruck simuliert werden können. Durch die Belastung der Gebirgsspannungen entsteht eine ALZ in der Umgebung des ungefüllten Bohrloches. Durch Erhöhung des Versatzdruckes im Bohrloch und durch zusätzliche Injektion vom Formationswasser ist ein Heilungsprozess in der Tonprobe zu erwarten. Die Entwicklung und Heilung der ALZ werden durch Messung der Gas- und Wasserpermeabilität sowie der Verformungen während des Versuchs bewertet. Vorversuche an Tonkernen mit den Abmessungen $D/d/L = 100/20/200$ mm befinden sich in der Vorbereitungsphase.

Die Laborversuche werden durch Modellrechnungen mit Hilfe des Programms CODE-BRIGHT simuliert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Testen des Versuchssystems
- Durchführung der Vorversuche an gelochten Tonkernen mit den Abmessungen $D/d/L = 100/20/200$ mm
- Modellrechnungen für Planung des Großenversuchs

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9844
Vorhabensbezeichnung: NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2004 bis 31.12.2007	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 139.100,00 EUR	Projektleiter: Dr. Becker	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Unterprojekt 5 (RTDC 5) des Gesamtprojekts NF-PRO gliedert sich in zwei Arbeitspakete. Der Anteil der GRS wird in mehreren Arbeitsschritten durchgeführt.

AP 5.1: Phänomenologische Analyse von Nahfeldprozessen.

AP 5.1.1: Identifikation wichtiger Nahfeldprozesse. Anhand existierender Studien und gestützt auf Erkenntnisse aus den Unterprojekten 1 bis 4 werden bedeutsame Prozesse identifiziert und in phänomenologische Modelle umgesetzt. Die GRS befasst sich dabei mit abgebrannten Brennelementen in Stahlbehältern in Ton- und Salzformationen.

AP 5.1.2: Massenbilanzen und Massenströme. Für Massenbilanzen und Massenströme von Substanzen, die aus den Bestandteilen der Abfälle und Versatzstoffe gelöst werden, werden Rechenschemata erarbeitet und auf existierende Studien angewandt. Anhand der Resultate wird die Bedeutung des wechselseitigen Einflusses zwischen geochemischen und Transportprozessen bewertet.

AP 5.1.3: Teilnahme an Projektworkshops.

AP 5.2: Zusammenführung und Auswertung der Ergebnisse aller Unterprojekte.

AP 5.2.1: Die GRS trägt zum Arbeitspaket durch Teilnahme an Diskussionen und Mitarbeit an der Dokumentation bei.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Schwerpunkt der Arbeiten zur Komponente 5 des Gesamtprojekts lag während der ersten sechs Monate auf Planung und Vorbereitung des Deliverable 1. Darin werden Nahfeldprozesse im Sinne einer Bestandsaufnahme phänomenologisch beschrieben. Dazu werden zunächst separate Konzeptberichte zu den fünf Referenzsystemen

- abgebrannte Brennelemente, eisenbasierte Behälter, Tonformation,
- hochaktiver Abfall, eisenbasierte Behälter, Tonformation,
- abgebrannte Brennelemente, eisenbasierte Behälter, Granitformation,
- abgebrannte Brennelemente, Kupfer-Eisen-Behälter, Granitformation,
- abgebrannte Brennelemente, eisenbasierte Behälter, Salzformation

jeweils von einer der teilnehmenden Organisationen erstellt und anschließend zu einem Bericht zusammengefasst. Einige der Konzeptberichte liegen in Form eines ersten Entwurfs vor. Mit der Planung eines Workshops zum Gesamtprojekt im November 2004 wurde begonnen. GRS hat zu den planenden und vorbereitenden Arbeiten durch Teilnahme an den Projektworkshops im Januar und im Juni 2004 beigetragen.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

Beginn der Arbeiten zur Identifikation wichtiger Nahfeldprozesse.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9854	
Vorhabensbezeichnung: Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1)			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2004 bis 31.01.2006		Berichtszeitraum: 01.02.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 887.863,00 EUR		Projektleiter: Filbert	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens ist die Entwicklung und die Erprobung eines technisch machbaren Konzeptes zur Endlagerung gezogener Brennstäbe aus unzerschnittenen Brennelementen in vertikale Bohrlöcher. Im Einzelnen soll die technische Machbarkeit nachgewiesen, die Sicherheit in der Betriebsphase durch hinreichend viele Demonstrationsversuche überprüft und Ableitungen für die Sicherheit in der Nachbetriebsphase getroffen werden.

In der Phase 1 soll durch eine Machbarkeitsanalyse untersucht werden, unter welchen Randbedingungen der vollständige Zyklus der Einlagerung von mit unzerschnittenen Brennstäben beladenen Kokillen erfolgen kann. Untersucht werden sollen der Transport über Tage, die Schachtförderung, der Transport unter Tage und letztendlich die Einlagerung in einem vertikalen Bohrlöcher. Daraus sollen Anforderungen an die Komponenten zur Einlagerung erarbeitet, notwendige Untersuchungsschwerpunkte herausgestellt und ein technisches Konzept abgeleitet werden. Die Phase 1 schließt nach der Konzeptplanung mit einer Entwurfsplanung zum ausgewählten Konzept ab.

Das Vorhaben wird durch die EU mitgefördert und ist im Rahmen des 6. EU-Rahmenprogramms (2002 – 2006) in das integrierte Projekt IP ESDRED (Engineering Studies and Demonstration of Repository Designs) eingebunden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP1: Grundlagenermittlung

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

AP2: Konzeptplanung

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

AP3: Entwurfsplanung

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Rahmen des Arbeitspaketes 1 wurde ein Berichtsentwurf zu den Grundlagen und Anforderungen an das Gesamtsystem zusammengestellt und dem Partner ANDRA (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs)/Frankreich im Rahmen der Kooperation im IP ESDRED zur Ergänzung der Grundlagen und Anforderungen zur französischen horizontalen Endlagertechnik im Ton zur Verfügung gestellt. Im Bericht ist das deutsche Endlagerkonzept sowie ein grobes Konzept zur Einlagerung von Brennstabkokillen (BSK 3) in vertikalen Bohrlöchern dargestellt. Der Kenntnisstand zur BSK 3 wurde hinsichtlich Design, Struktur, Werkstoffe, thermische Auslegung, Stabilität und Kritikalitätssicherheit bei der Zwischenlagerung beschrieben.

Im Bericht wurde das zugrunde liegende Mengengerüst als Basis für die zu erwartenden Lastspiele des BSK 3-Einlagerungssystems aufgestellt. Zur mechanischen und geometrischen Auslegung des Systems sind weiterhin die Masse und die geometrischen Daten der Brennstabkokille aufgeführt. Zur Ermittlung von Einflüssen auf das System aus dem Stoßen der Bohrungen unter Tage im Wirtsgestein Salz, wurde der Stand der Bohrtechnik dargestellt und Anforderungen für die Konzeptplanung einer endlagergerechten Bohrtechnik aufgestellt. Weiterhin wurde der Stand der Technik zur Einlagerung von Behältern in vertikale Bohrungen an Hand des Asse-HAW-Versuchs und der Einlagerungsmaschine für kurze Bohrlöcher in Schweden, beschrieben. Als Grundlagen der weiteren Bearbeitung wurden zu berücksichtigende internationale und nationale Gesetze, Normen, Verordnungen und Regelungen ermittelt sowie sicherheitliche und betriebliche Anforderungen definiert. Ergänzend wurden die zu erwartenden Einflüsse aus dem Wirtsgestein Salz, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit etc., zusammengestellt. Weiterhin wurden die Schnittstellen der Komponenten der Bohrlocheinlagerungstechnik untereinander und in Bezug zum Endlagerkonzept im Wirtsgestein Salz über Tage, beim Schacht- und Streckentransport sowie bei der Einlagerung herausgearbeitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Grundlagenbericht wird fertig gestellt, durch einen unabhängigen Experten geprüft und der EU Kommission und dem Projektträger PtWT+E übersandt.

Die Bearbeitung des AP2 „Konzeptplanung“ wird mit dem Vergleich zweier Einlagerungskonzepte, die sich in der Art und Anzahl der erforderlichen Komponenten unterscheiden, aufgenommen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: BUTEC Umwelttechnik GmbH, Kölner Straße 6, 65760 Eschborn		Förderkennzeichen: 02 E 9864
Vorhabensbezeichnung: Selbstheilungseffekte in Tongestein bei hohen Temperaturen – Teilvorhaben WP 4.4 des Integrated Project NF-PRO des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2004 bis 30.06.2005		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004
Gesamtkosten des Vorhabens: 55.680,00 EUR		Projektleiter: Fröhlich

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des „Integrated Project NF-PRO“ des 6. EU-Rahmenprogramms soll das Nahfeld eines geologischen Endlagers für hochradioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente untersucht werden. Insbesondere sollen mögliche Veränderungen in der Auflockerungszone infolge der eingelagerten wärmeentwickelnden Abfälle betrachtet werden. Das Ziel dieses Teilvorhabens ist die experimentelle Erarbeitung von Basisdaten zur Selbstheilung von Rissen und Spalten in Ton bei hohen Temperaturen.

Das Vorhaben wird im Rahmen des 6. Rahmenprogramms von der Europäischen Union gefördert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Beschaffung von Tonproben
- Detailabstimmung des Versuchsprogramms und Festschreibung
- Modifikation vorhandener Versuchseinrichtungen
- Durchführung der Experimente zum Selbstheilungsverhalten von Ton in Abhängigkeit von der Temperatur
- Auswertung, Bewertung und Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Auswertung relevanter Literatur und Erstellung der vorläufigen Versuchsmatrix
- Teilnahme am 1. Co-ordination meeting
- Beschaffung von Tonproben. Von der BGR konnten 12 Tonproben aus Mont Terri zur Verfügung gestellt werden. Die Proben haben einen Durchmesser und eine Länge von jeweils 100 mm.
- Mit dem Umbau der Versuchseinrichtung wurde begonnen. Die vorhandenen Autoklaven müssen der Probengeometrie angepasst werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der Umbauarbeiten
- Vorversuche zur gezielten Erhöhung der Permeabilität der Tonproben (Trocknung)
- Messungen der Gaspermeabilität
- Untersuchung der Selbstheilungseffekte

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9874
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2004 bis 31.12.2007		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004
Gesamtkosten des Vorhabens: 81.058,00 EUR		Projektleiter: Dr. Popp

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1: Koordination der experimentellen Arbeiten und Probenahme.

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

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

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

AP 5: Untersuchungen in der Triaxialapparatur bei erhöhten Manteldrücken.

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

AP 7: Umsetzung der gebirgsmechanischen Parameter in Modellrechnungen.

AP 8: Zusammenstellung der Ergebnisse und Berichtserstellung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP 1: Probenahme von Opalinus Ton in Mont Terri und Prüfkörperherstellung für die Hydromechanischen Untersuchungen und die Durchführung der Scherversuche.
- AP 2: Zusammenstellung und Auswertung von Ergebnissen der am IfG durchgeführten Triaxialversuche an Salztonen verschiedener Lokationen.
- AP 4: Entwicklung von geeigneten Stempelsätzen für die simultane Durchströmung und Durchschallung in axialer Richtung unter der Triaxialpresse.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP 2: Erarbeitung und Darstellung des aktuellen Literaturkenntnisstandes bezüglich des gesteinsmechanischen Verhaltens von Tongesteinen. Erarbeitung eines State-of-the-Art-Berichtes.
- AP 3: Mineralogisch-petrographische und gesteinsphysikalische Charakterisierung des vorliegenden Probenmaterials.
- AP 4: Bau und Test der Stempelsätzen für die simultane Durchströmung und Durchschallung in axialer Richtung unter der Triaxialpresse.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 9884
Vorhabensbezeichnung: Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen	
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2004 bis 31.12.2007	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004
Gesamtkosten des Vorhabens: 546.245,00 EUR	Projektleiter: Dr. Meyer

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Untersuchungsprogramme von BENKOR und NF-PRO sind deckungsgleich. In den Experimenten werden ein Bentonit (MX-80) im Kontakt mit einer Bureton-Lösung, einer Granit-Lösung aus dem Versuchslabor Äspö sowie einer jungen Zementporenlösung mit einem hohen pH-Wert (pH 13) sowie zwei zementgebundene Materialien, mit zwei für die Deponierung in Salzformationen charakteristischen Lösungen untersucht. In Batchversuchen wird der Bentonit MX-80 mit den erwähnten Lösungen reagieren gelassen. Nach Zeitschritten von ein, zwei und drei Jahren wird der reagierte MX-80 gewaschen und auf $1,6 \text{ g/cm}^3$ kompaktiert und sein Quellvermögen ermittelt. Mittels chemischer Analysen sollen die langzeitlichen chemischen Umwandlungen betrachtet werden. Die experimentell erhaltenen chemischen Umwandlungen des MX-80 und der resultierenden Lösungen werden mit Hilfe des geochemischen Rechencodes EQ3/6 modelliert. Benkor-**AP1** entspricht dem NF-PRO WP 2.2. **AP2** entspricht WP2.4.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zunächst wurde im Rahmen des EU-Programms NF-Pro der State of the Art Report angefertigt. Es handelt sich hierbei um einen Überblick über die unterschiedlichen Endlagerkonzepte für die unterschiedlichen Wirtsgesteine Granit, Ton und Salz. Die Rolle und Anforderung von EBS-Materialien wird dargestellt sowie die Wechselwirkungen dieser Materialien im Kontakt mit unterschiedlichen Lösungen. Im Besonderen wurde im Bericht auf die Wechselwirkungen von Bentonit im Kontakt mit Zementporenwasser eingegangen, welche physiko-chemischen Veränderungen auftreten und welche thermo-hydro-mechanischen Veränderungen zu beobachten sind.

Für die beiden workpackages WP2.2 und WP2.4 wurden Test Plans für die ersten 18 Monate entworfen, in denen detailliert die durchzuführenden Versuche beschrieben werden. Für die Quelldruckmessungen wurden Zellen konzipiert und bestellt.

Im Rahmen eines Programms zur Qualitätssicherung der Quelldruckmessversuche sollen neben den zu beschaffenden Quelldruckmesszellen im Rahmen einer Kooperation mit der Universität Weimar weitere Zellen für Wasserdampfbeaufschlagung aus Spanien beschafft werden, die eine noch präzisere Bestimmung des Quelldruckes ermöglichen sollen. Ein Vergleich zwischen Wasserdampf- und Lösungsquelldruckmessungen soll Möglichkeiten zur Präzision von Quelldruckmessungen aufzeigen.

Es erfolgt z. Z. die Belegung von MX-80 mit Na und die Herstellung der Reaktionslösungen, die für die weiteren Korrosionsexperimente benötigt werden (IP21, NaCl, Äspö and Opalinus Porenwasser).

4. Geplante Weiterarbeiten

Im weiteren Verlauf des Projektes wird der Na-belegte Bentonit mit Lösung beaufschlagt und reagieren gelassen. Es erfolgt jeweils nach einem Jahr Reaktionszeit die Phasenmineralogische Veränderung des Bentonits, als auch die Messung des Quelldrucks des korrodierten/reagierten Materials.

Das Ansetzen der Batchversuche erfolgt dabei in der Weise, dass möglichst wenig Lösung mit dem MX-80 zur Reaktion gebracht wird.

In einer zweiten Versuchsreihe werden Langzeitreaktionsversuche mit MX-80 bei einer trockenrohdichte von $1,6 \text{ g/cm}^3$ im lösungsgesättigtem Zustand angesetzt.

Für die Vergleichsmessungen von Quelldruckmessungen mit Wasserdampf und Wasser werden von der Universität Barcelona (UPC) Quelldruckmesszellen aus Spanien beschafft und Vorversuche bezüglich der Vergleichbarkeit mit GRS-Zellen bzw. der GRS-Quelldruckmessmethode durchgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Ein Beitrag zum NF-PRO-State of the Art Report zum RTD component 2 wurde fertig gestellt. Er stellt den Wissensstand zu EBS-Materialien zusammen, die für den Einsatz in Salzformationen in Deutschland im Gespräch sind.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9894	
Vorhabensbezeichnung: Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor - Hauptprojekt			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2004 bis 31.12.2008		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.311.986,00 EUR		Projektleiter: Rothfuchs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Abschließende Laboruntersuchungen zur Materialauswahl, Bestimmung von Materialparametern, Ermittlung geeigneter Einbautechniken für das Dichtmaterial sowie Auslegungs- und Modellrechnungen.
- AP 2: Technikums- und In-situ-Untersuchungen: Im Mt. Terri Untertagelabor werden in 4 bis 6 instrumentierten Bohrlöchern an den ausgewählten Ton/Mineral-Gemischen die Einbringtechnik, die Gas- und Wasserpermeabilitäten, die Gasdurchbruchsdrücke im wassergesättigten Zustand und die Zweiphasenflussparameter in Wechselwirkung mit dem umgebenden Gebirge untersucht. Zum Test der Einbring- und Verdichtetechniken werden in einem Technikum in Braunschweig entsprechende Vorversuche durchgeführt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten im Hauptprojekt wurden unmittelbar nach Vorliegen der Bewilligung im Mai 2004 aufgenommen.

Zur Bereitstellung weiterer Daten für die Auslegungsrechnungen der In-situ-Versuche wurden abschließende Ödometerversuche zur Ermittlung des hydraulischen und des mechanischen Verhaltens an Ton/Sand-Mischungen 35/65 und 50/50 im Hauptprojekt begonnen. Die Auswertung der Ergebnisse dauert noch an.

Für die Technikumsversuche wurden Auslegungsrechnungen mit Code_Bright durchgeführt. Als wichtigstes Ergebnis ist fest zu halten, dass bei der Materialmischung T/S=35/65 mit einer Aufsättigungsdauer von 4 Monaten und bei der Materialmischung T/S=50/50 mit einer Aufsättigungsdauer von 6 Monaten zu rechnen ist. Diese Zeiten werden mit Blick auf den Gesamtzeitplan des Projektes als akzeptabel bewertet.

Die notwendigen Beschaffungen für die Technikumsversuche sind weitgehend abgeschlossen. Der Versuchsstand im Labor der GRS wurde vorbereitet, die Messwerterfassungsanlage installiert und erfolgreich getestet. Die Rohre für die Teststände wurden im Unterauftrag fachgerecht geschweißt und in das Technikum ausgeliefert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Planung der Versuchsfelderstellung im Mt. Terri Untertagelabor
- Auswertung der restlichen Laboruntersuchungen zur Materialauswahl
- Ermittlung der für Modellrechnungen erforderlichen Kapillardruck- und der relativen Permeabilitätskurven für Gas an ausgewählten Materialmischungen
- Aufbau und Inbetriebnahme der Technikumsversuche

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 9904
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2004 bis 31.12.2007	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 98.531,00 EUR	Projektleiter: Dr. Salzer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

AP 2: Untersuchungen in der Triaxialapparatur bei erhöhtem Manteldruck.

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

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

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

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

AP 7: Durchführung von Modellrechnungen zur Bewertung von Verfüllmaßnahmen.

AP 8: Zusammenstellung der Ergebnisse und Berichtserstellung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1: Erarbeitung eines State-of-the-Art-Berichtes.

AP 2: Herstellung von zylindrischen Prüfkörpern aus hochkompaktiertem Salzgrus für die Durchführung der Triaxialversuche (AP 2) und Kriechversuch (AP 5).

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 2: Durchführung der geplanten Triaxialversuche an zylindrischen Prüfkörpern aus hochkompaktiertem Salzgrus.

AP 3: Durchführung der geplanten Scherversuche zwischen Blöcken aus hochkompaktiertem Salzgrus bei wachsenden Normalspannungen.

AP 4: Durchführung der geplanten Scherversuche zwischen Blöcken aus hochkompaktiertem Salzgrus und natürlich gewachsenem Steinsalz bei wachsenden Normalspannungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50455 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9914
Vorhabensbezeichnung: Goelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2004 bis 30.11.2006	Berichtszeitraum: 01.04.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 120.732,00 EUR	Projektleiter: Rothfuchs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Zur Bearbeitung spezieller Fragen bzgl. der Charakterisierung und Kurzzeitentwicklung der EDZ soll der Versuch mit einer weiteren Ent- und Wiederaufsättigungsphase weitergeführt werden. Folgende Fragestellungen sollen von den Projektpartnern im Rahmen des EU-Projektes NF-PRO bearbeitet werden: a) Bestimmung der effektiven hydraulischen Leitfähigkeit (Keff) in der EDZ, b) Abschätzung des Selbstheilungsprozesses infolge natürlicher Wiederaufsättigung, c) Bestimmung des Einflusses chemischer Änderungen infolge der Ventilation auf die hydraulisch-mechanischen Eigenschaften sowie d) Bestimmung der EDZ-Eigenschaften bzgl. Feuchtetransporteigenschaften und Vergleich mit entsprechenden Daten im ungestörten und natürlich geklüfteten Gebirge („main fault“)

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die GRS soll im Projekt folgende Arbeiten übernehmen:

- geoelektrische Messungen zur Ermittlung und Verfolgung der zeitlichen und räumlichen Entwicklung der Feuchteverteilung im Gebirge in den verschiedenen Ventilationsphasen
- unterstützende Untersuchungen an großkalibrigen Bohrkernen zur Quantifizierung der o. g. Effekte unter besonders gut kontrollierten Bedingungen im Labor.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Weiterführung der geoelektrischen Feldmessungen: Die geoelektrischen Feldmessungen wurden ab dem 1. April 2004, d. h. mit Beginn der neuen Projektphase 2 im bisherigen Umfang weitergeführt.

Die bereits in der voranlaufenden Phase 1 im Januar und Februar 2004 beobachtete Wiederaufsättigung des Tonsteingebirges hat sich bis Juni 2004 etwas verstärkt. Die Auswertung bzw. Interpretation der Tomogramme ist jedoch wegen des mehrmaligen Ausfalls der Ventilationsanlage zwischen März und Anfang Juni schwierig. Wegen technischer Probleme erfolgte die Ventilation in diesem Zeitraum mal mit höherer mal mit niedrigerer Luftfeuchtigkeit und mal mit sich infolge des Stillstands der Anlage natürlicherweise ergebender Luftfeuchtigkeit. Seit 11. Juni läuft die überholte Anlage nun wieder normal, so dass nunmehr mit einer kontinuierlichen Aufsättigung gerechnet werden kann. Bisher scheint die Umgebung des Mikrotunnels, abgesehen vom unmittelbaren Nahbereich mit einer Stärke von 10 bis 20 cm, allerdings noch stark entsättigt zu sein.

Laboruntersuchungen: Im Berichtszeitraum wurde mit der Vorbereitung der Screening Tests für die Ventilationsversuche an großkalibrigen Bohrkernen begonnen. Ergebnisse liegen z. Zt. noch nicht vor.

Zur Bestimmung der Beziehung zwischen Saugspannung und Wassergehalt wurde ein erster Versuch an kleinen Tonsteinproben im Exsikkator bei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten gestartet. Der Versuch wird etwa im August 2004 beendet sein.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14415 Potsdam		Förderkennzeichen: 02 E 9924
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Huminstoff-Metall-Komplexierung (Teil Antrag im Verbund „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2004 bis 31.03.2007	Berichtszeitraum: 01.04.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 193.363,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Löhmannsröben	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Erweiterung und Absicherung der thermodynamischen Datenbasis für Actiniden und der Einfluss der Kinetik stehen im Vordergrund des Forschungsvorhabens. Es werden die mechanistischen Aspekte der Wechselwirkung von Metallionen mit Huminstoffen sowie die Kinetik und Thermodynamik der Reaktionen durch zeitaufgelöste Lumineszenzspektroskopie untersucht. Dazu werden die konditionellen Stabilitätskonstanten bestimmt (AP1), Abstandsverteilungen von Metall-Bindungsstellen in Huminstoffen ermittelt (AP2), die Assoziationskinetik von HS untersucht (AP3) und die Konformationsdynamik von HS analysiert (AP4). Die zu erwartenden Ergebnisse des Forschungsvorhabens zielen auf eine Erweiterung der Methodik zum Langzeitsicherheitsnachweis für potentielle Endlagerstätten. Daraus werden Beiträge für differenzierte Transportmodelle, die vor allem dem milieuhängigen Verteilungsverhalten von Schwermetallspezies in DOC-haltigen Systemen Rechnung tragen, erhalten. Das Verständnis der zugrunde liegenden Teilprozesse ist eine elementare Voraussetzung für die verlässliche Modellierung konkreter Szenarien.

Das Projekt 02E9924 ist Teil des Verbundes „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“. Insbesondere mit den Projekten 02E9673, 02E9763, 02E9693 und 02E9683 bestehen thematische Verknüpfungen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Bestimmung von konditionellen Komplexbildungskonstanten und thermodynamischen Daten
- AP2: Ermittlung der mittleren Abstände r von Metallbindungsstellen in Huminstoffen
- AP3: Untersuchung der Kinetik der Huminstoff-Metall-Assoziation
- AP4: Konformationsdynamik in Huminstoff-Metall-Komplexen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten zum AP1 sind begonnen worden. Dazu werden zunächst die Proben GoHy-573 FA und GoHy-573 HA UV/Vis- und fluoreszenzspektroskopisch charakterisiert. Die stationären Messungen sind im pH-Bereich 2 bis 10 durchgeführt worden.

Zur Zeit wird die Löschung der intrinsischen Fluoreszenz der HA- und FA-Probe (GoHy-573) sowie die Änderung der Lumineszenz von Terbium untersucht. Dabei werden die stationäre und zeitaufgelöste Lumineszenz von Terbium gemessen. Aus den Intensitätsänderungen der intrinsischen Huminstoff-Fluoreszenz sowie der Terbiumlumineszenz werden konditionelle Stabilitätskonstanten bestimmt. Die Auswertung erfolgt nach verschiedenen Modellen (u.a. nach Ryan-Weber, Ladungsneutralitätsmodell). Weiterhin wurde in zeitaufgelösten Lumineszenzmessungen bereits auch Europium als Lumineszenzsonde eingesetzt.

Die ersten Ergebnisse der zeitaufgelösten Messungen zeigten, dass die Lumineszenz von Terbium nach Energietransfer vom Huminstoff (HS) für die FA-Probe viel größer ist als in vergleichbaren Messungen mit der HA-Probe.

4. Geplante Weiterarbeiten

Als nächste Schritte sollen die gewonnenen Daten mit den verschiedenen Modellen (s.o.) ausgewertet werden und zwar sowohl die Daten der intrinsischen HS-Fluoreszenz als auch die sensibilisierte Lumineszenz der gebundenen Terbium- und Europiumionen (AP1). Aus dem AP2 werden Experimente zum Interlanthanid-Energietransfer vorbereitet, indem die Paare Tb^{3+} / Nd^{3+} bzw. Eu^{3+} / Nd^{3+} getestet werden. Damit die Assoziation von Huminstoffen in An- und Abwesenheit von Metallionen untersucht werden kann, muss eine stopped-flow-Apparatur beschafft, aufgebaut und getestet werden (s. AP3). Die notwendigen Maßnahmen dazu werden demnächst eingeleitet. Im AP4 soll im letzten Quartal 2004 mit ersten Experimenten zur Photodynamik von Huminstoffen begonnen werden. Dazu sollen aber erst noch die Proben Aldrich-HS und M42 spektroskopisch charakterisiert werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

2.2 C-Vorhaben

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 C 0689
Vorhabensbezeichnung: Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien	
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.1999 bis 31.03.2004	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 31.03.2004
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.360.156,41 EUR	Projektleiter: Dr. Hagemann

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Versuche zur Gasfreisetzung und zur Wärmeentwicklung bei der Umsetzung von Abfällen mit salinaren Lösungen im halbtechnischen Maßstab (Reaktionsmasse etwa 10-20 kg) wurden abgeschlossen. Die Langzeitversuche im kleinen Maßstab wurden fortgeführt. Die in der Vorhabensplanung vorgesehenen experimentellen Arbeiten sind damit abgeschlossen.

Die Langzeitversuche, die nunmehr bis zu zweieinhalb Jahre laufen zeigen bei den untersuchten Abfällen (Gasreinigungsabfall, Schlacken, Schleifschlamm) eine weiterhin konstante Gasentwicklung. In den meisten Fällen ist die gesamte freigesetzte Gasmenge nicht größer als die in den Kurzzeitversuchen unter verschärften Bedingungen („GasMax“) beobachtete. In einem Fall (Schleifschlamm) setzte sich die in den Kurzzeitversuchen festgestellte langsame Gasentwicklung über die Monate fort, so dass mittlerweile ein erheblich höheres Gasfreisetzungspotential nachgewiesen ist.

Bei den Versuchen ohne direkten Wasserkontakt ließ sich nur bei einem einzelnen Abfall eine signifikante Gasentwicklung beobachten (Schleifschlamm), hier allerdings mit beträchtlichem Ausmaß (über $10 \text{ m}^3/\text{t H}_2$).

Die Langzeitversuche werden über das Vorhabenende hinaus weitergeführt, um die langfristige Gasentwicklung weiter zu beobachten.

4. Geplante Weiterarbeiten

Anfertigung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0710	
Vorhabensbezeichnung: Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien			
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2000 bis 29.02.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 29.02.2004	
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 Rückhalte-mechanismen: 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 Rückhalte-mechanismen im Technikumsmaßstab: Durchführung von Säulen- und Batchversuchen zur Überprüfung der Anwendbarkeit des entwickelten thermodynamischen Parametersatzes. Hierbei wird die tatsächliche Wirksamkeit von "geochemischen Puffern" oder "Fängermineralen" hinsichtlich ihrer Rückhaltung von Pb, Zn und Cd aus schadstoffhaltigen Lösungen untersucht und mit den Modellierungsergebnissen verglichen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Die zusätzlichen Ramanmessungen an MgCl_2 - und CaCl_2 -Lösungen sind abgeschlossen. Die beiden Ionen Mg^{2+} und Ca^{2+} weisen Raman-Banden in einem Bereich auf ($300\text{-}400\text{ cm}^{-1}$), der auch zur Quantifizierung von Zn- und Cd-Chlorokomplexen herangezogen wird. Durch die neuen Messungen lässt sich ein Modell zur Korrektur der Messungen in den Systemen Cd/Zn-Ca/Mg-Cl- H_2O entwickeln.
- Zusätzliche ramanspektroskopische Messungen an ZnClO_4 -Lösungen mit kleinen Konzentrationen an LiCl zeigten keinen Hinweis auf signifikante Mengen eines Monochlorokomplexes. Auch ein Cd-Monochlorokomplex ist nicht sichtbar.
- Fortführung von Säulenversuchen zur Rückhaltung von Zink, Blei und Cadmium durch Mineralbeimischungen zu Salzversatz.

Abschluss der isopiestischen Untersuchungen an zink- und cadmiumhaltigen Systemen

4. Geplante Weiterarbeiten

- Erstellung eines vollständigen Parametersatzes für Zn, Cd, Pb in sauren Lösungen. Erstellung eines konsistenten, kritisch kompilierten thermodynamischen Datensatzes zur Beschreibung der Komplexbildung und Festphasenstabilität der Verbindungen von Zink, Blei und Cadmium mit Hydroxid, Chlorid, Carbonat und Phosphat.
- Qualitätsgesicherte Dokumentation der erhaltenen Parameter.
- Kurzfristiger Abschluss und Auswertung der oben genannten Säulenversuchen

Erstellung des Abschlussberichtes

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38670 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 0720
Vorhabensbezeichnung: Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2000 bis 31.03.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 699.653,99 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Implementierung des Verheilungsansatzes in MISES3/ Betriebssystem Windows abgeschlossen und anhand von Testberechnungen geprüft
- Ableitung eines vollständigen Parametersatzes für das Stoffmodell Hou/Lux (Schädigung und Verheilung)
- Testberechnungen zur Ermittlung der Gültigkeitsgrenzen für den derzeit implementierten Verheilungsansatz im Stoffmodell Hou/Lux
- Durchführung der zur Ermittlung der Stoffparameter erforderlichen Versuche, Auswertung und Darstellung der Versuchsergebnisse mit geänderter Belastungsrate

Es wurden 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 Ultraschallmessungen durchgeführt worden.

Um die im letzten Zwischenbericht beschriebenen und analysierten Defizite zu beseitigen wurde der aus der internationalen Literatur von Chan (1998) veröffentlichte Ansatz als Grundlage herangezogen und entsprechend der vorhandenen Nomenklatur des Stoffmodells Hou/Lux und der FEM- Software MISES3 modifiziert.

Zahlreiche Berechnungen an einfachen Prüfkörpermodellen (Würfel, Vollzylinder ohne Lagerung) haben gezeigt, dass bei Berechnungsmodellen mit Diskretisierung der stirnseitigen Druckstücke angesichts der Steifigkeitsunterschiede zwischen den Homogenbereichen „Stahl“ und „Steinsalz“ ein komplexer Spannungszustand und entsprechend auch ein komplexer Verzerrungszustand resultiert. Im unmittelbaren Kontaktbereich zwischen „Stahl“ und „Steinsalz“ wurden nach Simulation der Lastaufgabe extremale Verzerrungsraten ausgewiesen, die rechnerisch in Folge numerischer Instabilitäten große Beanspruchungen induzieren. Erst die Reduktion der Belastungsrate von 1 MPa/min für die Radialbeanspruchung entsprechend der Randbedingungen im Labor auf bis zu 1 MPa/d zeigte einen numerisch stabilen Berechnungslauf für das Modell „Vollzylinder mit oberer und unterer Stahlplatte“. Weitere Verifikationen erfolgten an fiktiven In-situ-Bauwerken wie z.B. einer Kavernenanlage.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung von Laborversuchen an zylindrischen Prüfkörpern mit 180 mm Höhe und 90 mm Durchmesser mit reduzierter Belastungsrate beim Anstieg der Radialbelastung.
- Rückrechnung von Laborversuchen an zylindrischen Prüfkörpern mit reduzierter Belastungsrate.
- Anwendung des Verheilungsansatzes auf ausgewählte Fragestellungen und Übertragung auf reale Bauwerke gemäß Antragskizze.
- Implementierung eines Versatzkompaktionsmodells zur Berechnung von Dammbauwerken unter Berücksichtigung von Versatz

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99404 Weimar		Förderkennzeichen: 02 C 0800
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2000 bis 31.01.2004	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 31.01.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 587.094,93 EUR	Projektleiter: Dr.-Ing. Kupfer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Messung der Feuchteverteilung in geotechnischen Barrieren von Untertagedeponien ist zur Bewertung des statischen Zustandes, für nicht bestimmungsgemäße Entwicklung von Lösungszutritten, aber auch zur Datenerfassung für Langzeitsicherheitsanalysen erforderlich. Das Vorhaben hat die Entwicklung eines dielektrischen Messsystems zur Feuchtebestimmung in Bentonit-Abschlussbauwerken zum Ziel. Es erfolgen Untersuchungen der dielektrischen Eigenschaften von Bentonit, Modellberechnungen zur Messmethode, Anwendungen verschiedener Messsysteme im Zeit- und Frequenzbereich, Versuche zur Detektion von Feuchtefronten in Bentonit unter dem Einfluss von Druck, Wasser und salinärer Umgebung sowie der Test der Sensoren in halbtechnischen, realitätsnahen Versuchen. Mit Feldsimulationen und Prognosemodellen werden Aussagen zum Langzeitverhalten unterstützt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Auswertung der Untersuchungsergebnisse für die Erarbeitung des Abschlussberichtes.

4. Geplante Weiterarbeiten

Abschlussbericht

6. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: TU-BAF, Akademiestr. 6, 09596 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 C 0820
Vorhabensbezeichnung: Zeitliche Veränderungen der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2001 bis 31.03.2004	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 31.03.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 518.810,04 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Häfner	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat als Ziele:

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1 Festlegung der Versuchsbedingungen, der Versuchsorte und Prüfmedien

AP 2 Versuchs- und Messtechnik

AP 3 Theoretische Modelle

AP 4 Durchführung der Messungen

AP 5 Ergebnisanalyse, Endauswertung

AP 6 Berichte

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Untersuchungsprogramm entsprechend AP 1 – 7:

- Herstellung und Installation von Bohrungen unter Verwendung von MgO-Beton und Bentonit als Packer.
- In-situ Permeabilitätsmessungen mit CaCl_2 angereicherter R-Lösung.
- Durchführung von Permeabilitätsmessungen mit steigendem Druck bis zum Versagensfall (Frac) und anschließende Vergütung der entstandenen Risse mit Zweikomponentenbitumen.
- Permeabilitätsmessungen der Kontaktfuge des Flächenpackerelementes nach einer Vergütung (Injektion von Zweikomponentenbitumen in die Kontaktfuge).
- Interpretation der In-situ-Messungen mit Analyse der zeitabhängigen Laugenpermeabilität.
- Analyse und Interpretation der Labormessungen.
- Fertigstellung des Abschlussberichtes.

Ergebnisse:

- Die Ergebnisse der Untersuchungen sind detailliert im fertig gestellten Abschlussbericht dargelegt und interpretiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt ist abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Abschlussbericht

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0830	
Vorhabensbezeichnung: Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2000 bis 30.06.2004		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.487.988,58 EUR		Projektleiter: Dipl.-Geol. Kull	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das FuE-Vorhaben wird durch nachfolgende Arbeitsschritte beschrieben:

AP1: Laborarbeiten

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

AP2: Modell

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

AP2: in situ

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Flutung des Großbohrloches GB-3 mit Magnesiumchlorid gesättigter Lauge wurde abgeschlossen. Die integrale Permeabilität des selbstverheilten Bohrloches lag bei Ende der Laugeinjektion in der Größenordnung von 10^{-18}m^2 . Die Ergebnisse von Permeabilitätstests in den Großbohrlöchern GB-1 und GB-2 zeigten vergleichbare Werte.

In GB-1 wurde der selbstverheilte Matrixbereich und die Kontaktzone zum Gebirge durch 3 Kernbohrungen beprobt. Das bohrtechnisch schwierig zu handhabende kompakte Material, neigt wie der Carnallit zur Wasserabgabe während des Bohrens. Die teilweise nicht vollständig ausreagierte Matrix und einzelne unter Druck stehende Laugentaschen deuten auf einen heterogenen Gefügebau hin. Der Kontakt zum Gebirge war vollständig gegeben. Eine Fuge wurde nicht festgestellt.

Im Rahmen der Nachbeprobung der In-situ-Versuche wurden Salzausblühungen in der Auflockerungszone (ALZ) von GB-1 und GB-2 kartiert. Die Salzausblühungen weisen darauf hin, dass mit dem selbstverheilten Bohrloch eine hydraulische Dichtheit erzielt werden kann, die größer ist als die der geschädigten Auflockerungszone.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Nachbeprobung der Großbohrlöcher GB-2 und GB-3
- Erstellung des Abschlussberichtes

5. Berichte, Veröffentlichungen

KULL, H.; HERBERT, H.-J.; SANDER, W.(2004): A new self sealing backfill material for repositories in salt formations.- DISTEC 2004 – International Conference on Radioactive Waste Disposal; April 26-28, 2004; Berlin –Germany.

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: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.097.222,15 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Mengel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Beprobung eines neuen Bohrkerns in Werk Braunschweig Lüneburg durch das gesamte Zechstein 2 bis zur Salzbasis.
- Analyse eines alten Bohrkerns aus Braunschweig-Lüneburg (z2HS)
- Es wurde im alten Kern lediglich thermogenes Methan gefunden, ohne das die in Zielitz beobachtete Fraktionierung festgestellt werden konnte. Aufgrund vieler offener Parameter (Lagerung des Kerns, Geologie, ...) wird jedoch die Interpretation auf später verschoben, wenn die Resultate des frischen Kern vorliegen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Analytische Arbeiten am neuen Bohrkern aus Braunschweig-Lüneburg

5. Berichte, Veröffentlichungen

Potter, J., Siemann, M. G. (2004): A new method for determining $\delta^{13}\text{C}$ and δD simultaneously for CH_4 by gas chromatography/continuous-flow isotope-ratio mass spectrometry -- Rapid Communications in Mass Spectrometry, Vol 18, Issue 2, pp. 175 - 180.

Potter, J., Siemann, M. G., Tsypukov, M. (2004): Large scale isotopic carbon fractionations in a Zechstein evaporite deposit and the generation of extremely enriched methane gases – Geology, 32, pp. 533 - 536

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: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
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. Dieses Projekt steht unmittelbar vor seinem Abschluss.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Arbeitsgruppe Weimar

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

Arbeitsgruppe Tübingen

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

Arbeitsgruppe Braunschweig

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

Arbeitsgruppe Freiberg

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AG Weimar: Anwendung der Hochdrucködometerzelle:

Im Berichtszeitraum wurden die Be-, Ent- und Wiederbelastungspfade einer hochverdichteten Sand-Bentonit-Mischung unter oedometrischer Kompression bestimmt. Die Versuche erfolgten bei unterschiedlichen, konstant gehaltenen Werten der totalen Saugspannung. Der Belastungsbereich beträgt bis zu 30MPa in der Kompressionsphase. Mit den Kollegen in Tübingen wurde ein Quellmodell implementiert und erfolgreich verifiziert. Die entsprechenden Arbeiten wurden in internationalen Fachzeitschriften publiziert (s.u.).

AG Braunschweig: Fortsetzung der Quelldruckmessungen mit Calcigel/Sand-Gemischen und IP21-Lösung in kleinen und großen zylindrischen Messzellen. Die Versuchsprozeduren und die Gestaltung der Versuchsgeräte wurden intensiv mit der AG Weimar diskutiert. Modifikationen wurden entsprechend vorgenommen. Zurzeit laufen Vergleichsversuche in den beiden Arbeitsgruppen.

AG Tübingen:

- The reactive transport model is extended for unsaturated porous media, which enables the software to simulate multiphase flow and geochemical reactions in liquid phase.
- This model is applied to variably saturated bentonite to simulate the saturation process and related geochemical reactions in highly compacted bentonite
- A new back compaction method is developed for calculating the swelling pressure in highly compacted bentonite based on the chemical swelling model and the Cam-Clay model. Bentonite is considered to be elasto-plastic in the bentonite.
- The sub-stepping scheme was applied to the single yield surface model with the rotational hardening successfully within the context of the finite element method
- A strong displacement discontinuity and enhanced finite element approach is developed for plane strain Drucker-Prager plasticity.

AG Freiberg: Beratung von Mitarbeitern der Bauhaus –Universität-Weimar und Vorstellung der Ergebnisse der Technikumsversuche 5 – 7 (Unterauftrag MFPA / IBeWa): Die untersuchten MX-80 – Formsteine sind als Dichtmaterial für Wasser geeignet. Mit NaCl – Lösung trat in der Anfangsphase ein Flüssigkeitsdurchtritt entlang der Fugen auf, danach verhielt sich das Dichtelement stabil. Die Calcigel Formsteine FS40 besitzen gegenüber Wasser ein sehr gutes Dichtverhalten. Zum Dichtverhalten mit NaCl-Lösung liegen die Ergebnisse des In-situ-Versuches in Sondershausen vor. Die mit binären Calcigelgemisch durchgeführten Versuche zeigen übereinstimmende Ergebnisse. Ein "fingering" wurde nicht festgestellt. Durch die nachträgliche Verdichtung der trockenen Bereiche eines Dichtelement aus binärem Gemisch oder aus Granulat bei hohen Flüssigkeitsdruckbelastung kommt es zu einer Verringerung der hydraulischen Leitfähigkeit, d. h. zu einem langsameren Vordringen der Flüssigkeitsfront. Gleichzeitig lockert sich der unmittelbar druckseitige (durchfeuchtete) Bereich des Dichtelement durch die Wirkung des Quelldrucks auf. Bei Elementen aus Bentonitformsteinen ist dieser Effekt nicht ausgeprägt, da der Formsteinverband bei den vorliegenden Belastungen < 100 bar nur gering kompaktierbar ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten stehen unmittelbar vor ihrem Abschluss. Restarbeiten werden termingerecht abgeschlossen.
AG Tübingen: numerische Simulationen zum Versuchsstandort Sondershausen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- Xie M, Agus SS, Schanz T and Kolditz O (2004): An Upscaling Method and a Numerical Analysis of Swelling/Shrinking Processes in a Compacted Bentonite/Sand Mixture (*accepted by Int. J. of Numerical & Analytical Methods in Geomechanics*).
- Xie M, Wang W, de Jonge J and Kolditz O (2004): Numerical Modelling of Swelling Pressure in Unsaturated Expansive Elasto-Plastic Porous Media . (*submitted to Trans. Porous Media*)
- Bauer S, Xie M and Kolditz O (2004): Process-orientation and object-oriented program development for a multi-component reactive transport model for groundwater. FEM-MODFLOW conference in Karlovy Vary.
- Xie M, Bauer S and Kolditz O (2004): Numerical simulation of non-isothermal reactive transport in expansive unsaturated porous media, abstract, accepted by the International Conference on Environmental Science and Technology, 2005, New Orleans, Louisiana, USA.
- Korsawe J, Starke G, Wang W and Kolditz O (2004): Finite Element Analysis of Poro-Elastic Consolidation in Porous Media: Mixed and Standard Approaches. (submitted to Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, accepted for publication)
- Wang W, Datcheva M, Kolditz O and Schanz T (2004): Computational aspects for elasto-plasticity with rotational hardening (submitted to Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, in review).

Auftragnehmer: 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: 01.01.2004 bis 30.06.2004
Gesamtkosten des Vorhabens: 300.160,00 EUR		Projektleiter: Dr.-Ing. Minkley

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP 1: Es wurden Scherversuche an Schichtflächen Carnallitit/Steinsalz bei sehr geringen Scherverschiebungsgeschwindigkeiten über mehrere Tage durchgeführt. Mit abnehmender Verschiebungsgeschwindigkeit strebt der Scherwiderstand gegen den Restreibungswiderstand ohne Ausbildung einer Spitzenscherfestigkeit.
- AP 2: Das in C++ programmierte Schermodell kann als DLL-File (als user defined model) in das diskontinuumsmechanische Rechenprogramm UDEC eingebunden werden
- AP 3: Verifizierung des Schermodells durch Nachrechnung von Scherversuchen aus AP 1 mit dem Rechenprogramm UDEC.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP 1: Durchführung von Scherversuchen an Schichtflächen Carnallitit/Steinsalz unter hohen Normalspannungen in speziell konstruierten Stahlboxen.
- AP 2: Verifizierung des als DLL-File vorliegenden Schermodells im diskontinuumsmechanischen Rechenprogramm 3DEC.
- AP 3: Validierung des entwickelten Schermodells für Schichtflächen durch Rückrechnungen zu dynamischen Vorgängen im Salzgebirge.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0912
Vorhabensbezeichnung: Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2002 bis 30.04.2005	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 867.752,00 EUR	Projektleiter: Dr. Mönig	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Auf experimenteller Basis wird durch Datenauswertung ein thermodynamischer Parametersatz entwickelt, mit dem sich die Eigenschaften von Al- und Si-Spezies in salinaren Lösungen bis 25 °C in einem breiten pH-Bereich voraussagen lassen. Hierzu werden Lösungssysteme und

-eigenschaften identifiziert, mit denen die gesuchten thermodynamischen Parameter (Löslichkeitskonstanten, Assoziationskonstanten, spezifische Wechselwirkungskoeffizienten) durch experimentelle Untersuchungen ermittelt werden können.

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in die folgenden Arbeitspakete:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Die isopiestic Messungen zur Bestimmung der Pitzerkoeffizienten für Al in basischen und sauren wässrigen Salzlösungen wurden fortgesetzt. Untersucht werden insbesondere die Systeme mit den zweiwertigen Ionen der Salze des hexären Systems ozeanischer Salze (Mg, Ca, Sulfat), bei denen Lücken in den Literaturdaten festgestellt wurden.
- Die für Löslichkeitsmessungen mit Gibbsit beschaffte Messzelle wurde auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft und die Löslichkeitsmessungen im basischen pH-Bereich bei verschiedenen Salzfrachten wurden begonnen. Ergebnisse liegen hier noch nicht vor.
- Für potentiometrischen Titrations zur Ermittlung des pK-Wertes für das Dissoziationsgleichgewicht von $\text{H}_4\text{SiO}_4 / \text{H}_3\text{SiO}_4^-$ in Abhängigkeit von der Salzfracht wurde ein neues Gerät beschafft, das kürzlich am Markt eingeführt wurde und dessen Eignung hinsichtlich Reproduzierbarkeit und Nachweisempfindlichkeit vorab in ausgiebigen Testreihen geprüft wurde. Die Messungen wurden im Berichtszeitraum aufgenommen.
- Bei der gemeinsamen Auswertung aller Messdaten für die Löslichkeit von Kieselsäure in neutralen wässrigen Salzlösungen wurde festgestellt, dass (ähnlich wie bei Borsäure) eine erheblich bessere Anpassung an die Mess- und Literaturdaten erzielt werden kann, wenn die ternären Wechselwirkungen des Neutralteilchens H_4SiO_4 mit den An- und Kationen (Parameter xi) berücksichtigt werden. Zur Zeit werden diese Wechselwirkungsparameter bei den geochemischen Rechenprogrammen (z.B. EQ3/6) nicht verwendet.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe		Förderkennzeichen: 02 C 0922
Vorhabensbezeichnung: Verschlussystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2002 bis 31.12.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.091.844,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Nüesch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 2: Materialuntersuchung im Äquipotenzialsegment

Es wurden Steigversuche in der dafür gebauten Apparatur durchgeführt. Zunächst wurden natürliche Materialien eingesetzt. Problem der Be- und Entwässerungskurven: es bestehen große Unterschiede in der k_f -Wert-Bestimmung (Hysterese), die meist bei Entwässerung vorgenommen wird. Der Feinsand N45 erreichte nur eine Steighöhe von ca. 60 cm, wogegen in den klassischen Entwässerungsversuchen der Literatur bis zu 2 m angegeben sind. Es wurden weitere Materialien getestet, von denen 2 mittlerweile die 2,5 m deutlich überstiegen haben. Der Kalkanteil bewirkt eine gute Benetzung und damit ein rasches Aufsteigen. Damit kann der Benetzungswiderstand deutlich reduziert werden. Darauf aufbauend wurde mit Sand-Kaolinmischungen operiert, welche derzeit bei ca. 1,6 m stehen, also schon eine deutliche Verbesserung zeigen. Die weiteren Versuche beinhalten unterschiedliche Mischungen von N45 Feinstsand als Basismaterial mit Kaolin, Bentonit und Kalkmehl. Die Materialien haben schon eine Steighöhe von 1,7 m überschritten. Der Versuch zur Simulation der Schichtfolge Äquipotenzialsegment/Dichtsegment/Äquipotenzialsegment (Turmversuch) wurde gestartet. Mehrere Schichten stehen dabei nebeneinander senkrecht und werden seitlich bewässert. Das Dichtsegment wurde aus Bentonit (Calcigel) aufgebaut. Es konnte hierbei gezeigt werden, dass das Äquipotenzialsegment den Bentonit befeuchtet, d.h. das Wasser

steigt im ÄS etwas höher als im Bentonit. Die Funktion des Äquipotenzialsegments konnte so messtechnisch belegt werden. Durch den Versuchsaufbau ist der optische Beweis der Funktion ebenfalls geführt.

AP 2: Messtechnik

Die Materialien werden über ihre dielektrischen Eigenschaften charakterisiert. Die komplexe Dielektrizitätszahl wird an einem Messplatz im Bereich von 100 MHz bis 1000 MHz bestimmt. Das Verfahren wird derzeit standardisiert. Die Auswertung der Laufzeiten des Pulses entlang der Sensoren im Turmversuches zeigt Übereinstimmung mit den abgelesenen Höhen der Feuchtefront. Es können sowohl der Zeitverlauf als auch die Höhe reproduziert werden. Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der aktuellen Lage der aufgestiegenen Feuchte ergibt sich aus der Auswertung der TDR-Signale selbst. Mit einer Messung im trockenen Zustand als Referenz kann in weiteren Messungen das Aufsteigen der Feuchte als Änderungen von der Referenzkurve verfolgt und ortsgenau ausgewertet werden. Belegt ist somit die Funktion des Messsystems zum weiteren Einsatz in den Versuchen im halbtechnischen Maßstab.

AP 2: Materialuntersuchung im Dichtsegment

Die Wasseraufnahme der Bentonite wurde weiter untersucht. Dazu wurden Wasserdampfadsorptionsisothermen aufgenommen und das Wasserbindungsvermögen nach Enslin-Neff bestimmt. Damit wird die Wasseraufnahme sowohl aus der Gasphase als auch aus der flüssigen Phase bestimmt. Der erste Prozess spielt bei der Vorbehandlung und Lagerung sowie beim Einbau für die zu erreichenden Einbautrockendichten eine wichtige Rolle. Während die Aufnahme von Wasser aus der Gasphase mit steigender Vortrocknung geringfügig abnimmt, ist bei der Aufnahme von flüssigem Wasser die maximale Kapazität nach moderater Vortrocknung erreicht. Diese Ergebnisse müssen durch Wiederholungsmessungen noch bestätigt werden. Es erfolgte die erste praktische Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse. Für Quelldruckversuche wurde lufttrockener Na-reicher Bentonit aus Wyoming bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 84% gelagert. Nach ca. 15 Tagen wurde der geforderte Einbauwassergehalt (mineralogisch) von 17% erreicht. Die mineralogische Charakterisierung der im Test befindlichen ÄS-Materialien wurde begonnen. Die Carbonatgehalte (Carbonatbombe, IGT, ETHZ) der getesteten Materialien variieren deutlich.

AP 4: Versuche im halbtechnischen Maßstab

In Abstimmung mit der Projektträgerschaft wird eine Kooperation mit der TU-Bergakademie Freiberg begründet. Die formalen Voraussetzungen dazu werden derzeit geschaffen. Parallel ist die Ertüchtigungen der Versuchsanlage in Freiberg nahezu abgeschlossen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Einfluss unterschiedlicher Carbonate (Calcit, Dolomit) auf das kapillare Steigvermögen wird weiter untersucht. Die Kenntnis daraus soll einfließen in eine „Tuningrezeptur“ für die Materialien im Äquipotenzialsegment. Weitere Materialien werden im Steigversuch bei veränderten Versuchsbedingungen getestet. Die Versuche im halbtechnischen Maßstab werden im Herbst 2004 beginnen. Parallel wird über die numerische Simulation (AP 3) eine Sensitivitätsanalyse der Materialeinflüsse beim Durchfeuchten des Verschlusssystems angegangen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Der Projektstand wurde am 25. März 2004 bei der Projektsitzung in Braunschweig und am 01. Juli 2004 im Projektgespräch im Forschungszentrum Karlsruhe vorgestellt. Das Protokoll dazu ist auf der Homepage (www.untertageverschluss.de) eingestellt.

Zuwendungsempfänger: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V., Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 C 0932
Vorhabensbezeichnung: Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2003 bis 31.12.2005	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 365.274,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kupsch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Anwendung von ^{14}C -markierten, natürlichen und synthetischen Huminsäuren für Adsorptionsstudien an repräsentativen Geomatrices
 - Chromatographische Charakterisierung / Identifizierung von ^{14}C -markierten Huminsäuren
- Die Adsorptionsstudien mit ^{14}C -markierten Huminsäuren wurden auf die Modellgeomatrix Kaolinit ausgedehnt. Die adsorbierten Stoffmengen liegen bei konstantem pH-Wert um einen Faktor von ~ 100 höher (einige g/kg) als bei Seesand (einige mg/kg). Die Vorbehandlung des Kaolinit durch Suspension in Wasser und Partikelgrößentrennung durch Absitzenlassen erhöht die adsorbierte Huminsäuremenge um einen Faktor von $\sim 2 - 3$ im Vergleich zum unbehandelten Kaolinit im Konzentrationsbereich von $30 \mu\text{g/l}$ bis 40mg/l Huminsäure. In Abhängigkeit vom pH-Wert (3 - 11) wurde die adsorbierte Menge an Huminsäure für Seesand, Granit, Diabas und Kaolinit bestimmt. Beim Sand zeigt sich ein Abknicken der prozentualen adsorbierten Menge (80 %) oberhalb von pH 5, die oberhalb von pH 8,5 vernachlässigbar ist. Beim Granit und Kaolinit erfolgt dies erst bei $\sim \text{pH } 7$ (85 % und 80 %) und sinkt auf 50 % und 60 % bei pH 11 bzw. 10. Der Diabas zeigt einen pH-unabhängigen Verlauf (90 %). Bei Anwesenheit von Cu^{2+} (5×10^{-8} und $5 \times 10^{-6} \text{mol/l}$) wird kein signifikanter Unterschied der Adsorption von Huminsäure an Seesand im Vergleich zum „Cu-freien“ System bei pH 3 - 8,5 festgestellt. Eine ^{14}C -markierte Aldrich-Huminsäure wurde nach verschiedenen zeitlichen Abständen mittels GPC charakterisiert / identifiziert. Auch nach 150 Tagen nach der Radiomarkierung werden keine Zersetzungsprodukte bezüglich des ^{14}C -Signals beobachtet. Damit können ^{14}C -radiomarkierte Huminsäuren für Langzeitstudien (≥ 5 Monate) eingesetzt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Adsorptionsstudien mit den Radiotraceren ^{64}Cu und ^{197}Hg an Kaolinit unter Variierung von Konzentration, pH und Fest-Flüssig-Phasen Verhältnis
- Kinetische Untersuchungen der Adsorption/Desorption von ^{14}C -markierten Huminsäuren an repräsentativen Geomatrices
- ^{14}C -Radiomarkierung von verschiedenen Huminstoffen (Humin- und Fulvinsäuren) und deren Bereitstellung für den Huminstoff-Verbund

5. Berichte, Veröffentlichungen

- A. Mansel: „ ^{14}C -Markierung von Huminstoffen und deren Anwendung für Sorptionsstudien unter naturnahen Bedingungen.“ BMWA/BMBF-Workshop: „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer.“, Saarbrücken, 11.- 12. Mai 2004.
- A. Mansel, J. T. Patt, H. Kupsch: „Radiolabelling of Humic Substances with ^{14}C .“ Annual Report 2003, Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung (2004), ISSN 1619-5817, 68-71.
- A. Mansel, H. Kupsch: „Adsorption of ^{14}C - and ^{131}I -radiolabelled Humic Acids on Geomatrices under Conditions Near to Nature.“ Annual Report 2003, Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung (2004), ISSN 1619-5817, 72-75.

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: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 470.201,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Knoll	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1 Die Untersuchungsergebnisse liegen in Berichtsform vor. Sie ermöglichen die Eingrenzung der weiteren Untersuchungen und die Festlegung der disziplinären Forschungsaufgaben im Einzelnen.
- AP2 Die durchgeführten Fracmessungen zur Ermittlung der Minimalspannungsverteilung in Firste und Nordstoß sowie die Laufzeitmessungen in parallelen Bohrlöchern belegen einen nahezu rotationssymmetrischen Spannungsaufbau und Aufbau der ALZ sowie eine leichte Überzugswirkung aus dem benachbarten Kammer-Pfeiler-System. Geophysikalische Messungen (Georadar, Geoelektrik, Ultraschall) wurden erprobt, weiterentwickelt und kalibriert für die zerstörungsfreie Untersuchung der potentiellen Einbaustellen im geologisch kompliziert aufgebauten Gebirge.
- AP3 Zur Gewinnung von repräsentativen Probenmaterial wurde ein Carnallitblock gewonnen und hermetisiert. Aus dem Block wurden weitgehend ungestörte Prüfkörper zur Durchführung der gesteinsmechanischen und anderer Untersuchungen hergestellt. Die gesteinsmechanischen Laborversuche zur Charakterisierung des Wirtsgesteins (Triaxial- und Scherversuche) und der Parameterbestimmung wurden abgeschlossen. Mit diesen Parametern wurden erste gebirgsmechanische Berechnungen zur Modellierung der ALZ durchgeführt. Die experimentellen Untersuchungen der ALZ wurden bestätigt.
- AP4 Weiterführung der Untersuchungen zur Polyhalitbildung in R-Lösungen. Testung der Umsetzung von R-Lösung mit Calciumchlorid und Calciumschloridhydraten; Bestimmung der Temperatureffekte; dabei gelang es, die Temperatureffekte den In-situ-Erfordernissen anzupassen. Durchführung von Säulenversuchen zur Dichtungswirkung bei der Einwirkung von R-Lösung auf Calciumchlorid. Untersuchung der Stabilität von Tachhydrit in $MgCl_2$ - $CaCl_2$ -Lösungen und der Blockierung der Kieseritauflösung in $CaCl_2$ -Lösung. Insgesamt wurde ein Konzept für ein Schutzfluid erzeugende Vorschüttungen entwickelt.
- AP5 Für das Baumaterial lastabtragender (und evtl. dichtender) Elemente auf MgO-Basis wurden die geeigneten Mischungsverhältnisse und Inhaltsstoffe bestimmt und in kleinmaßstäblichen In-situ-Versuchen prinzipiell bestätigt. Die besten Eigenschaften im Sinne der Aufgabenstellung wurden bei Kombination des MgO-Betons in Kombination mit Bitumen erreicht.
- AP6 Die Ergebnisse aller Versuchsreihen an Gips-Anhydrit-Bentonitpresslingen zur Untersuchung des Langzeitschwellverhaltens wurden mit den aus der Literatur bekannten Erkenntnissen in einem Bericht zusammengefasst und Schlussfolgerungen für die Anwendbarkeit im Vorhaben gezogen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die weiteren Arbeiten dienen dem Abschluss der laufenden Untersuchungsreihen (geomechanische Modellierung, Optimierung der Vorbauelemente für den gesteuerten Lösungsangriff, Entwicklung von Gelsystemen als abdichtende Elemente und als Lösungsspeicher; Permeabilitätsuntersuchungen im Labor, und konzentrieren sich auf die Berichtsfassung der vorliegenden Ergebnis sowie auf dieser Basis auf die Entwicklung eines Grundkonzeptes für Absperrbauwerke unter komplizierten geologischen Bedingungen.

5. 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: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 741.130,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Pusch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben umfasst folgende Arbeitspunkte:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Differenzierung von Bereichen unterschiedlicher Permeabilität innerhalb eines deviatorisch verformten Kernes (Belastung: axial 50 MPa, radial 10 MPa)
- Verbesserung der Visualisierbarkeit von Rissystemen bei der Nutzung der Computertomographie
- Fertigstellung einer Salzpresszelle für Kerne mit $\varnothing = 60\text{mm}$ und Herstellung erster Kerne mit einer Porosität um $\sim 4\%$ für Referenzmessungen
- Anpassung der Registriersoftware für zusätzliche Messkanäle und Implementierung der automatischen Ortung, Erprobung der automatischen Ortung an einem Salzblock im Labor über den Zeitraum einer Woche
- Beginn der Bohrarbeiten und Installation der Bohrlochsonden, sowie Durchführung einiger Hydrofrac-Versuche und Durchschallungsmessungen

Bei der Verfolgung von Rissystemen mit Hilfe der Computertomographie ist zu erkennen, dass die Rissbildung innerhalb eines deviatorisch verformten Salzkerns von unterschiedlichen Faktoren abhängig ist. Zum einen ist in den Randbereichen des Kernes das Rissystem weniger stark ausgeprägt und die Permeabilität ist in diesen Bereichen geringer. Zum anderen verursachen Anhydritbestandteile im Nahbereich ihrer Ablagerungen eine deutliche Veränderung des Rissbildungsverhaltens.

Bei Verheilungsversuchen von deviatorisch aufgelockerten Kernen ist auch nach mehreren Belastungszyklen (ohne Fluidzufuhr) kein vollständiges Schließen des Rissystems zu beobachten. Da nach einem Belastungszyklus Risse noch deutlich erkennbar sind, ist davon auszugehen, dass zunächst vorwiegend nur die Vernetzungsstellen zwischen den Rissen geschlossen werden und den Permeabilitätsabfall von ca. zwei Dekaden verursachen. Der Permeabilitätsbereich kleiner 10^{-18} m^2 konnte dabei nicht unterschritten werden. Die vorhandene Restpermeabilität liegt somit deutlich über der von unverritztem Steinsalz.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden programmgemäß weitergeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0963	
Vorhabensbezeichnung: Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheits Gesichtspunkten			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2003 bis 31.03.2005		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 109.892,00 EUR		Projektleiter: Dr. Herbert	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

AP3: Abschlussbericht.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- a. Rechentechnische Erfassung von chemischen und physikalischen Analysenergebnissen von Salzlösungszuflüssen.

In einer abgestimmten Erfassungsform sind 4550 Analysen erfasst und zu 30 % mit den Original-Datenquellen verglichen. Zur Gesamtabrundung müssen noch aus einzelnen Gutachten und Berichten etwa 400 weitere Analysen in die Datenliste aufgenommen werden (AP 1 und AP 2).

Damit ist gewissermaßen der Pool geschaffen, aus dem für die Typisierung, Modellierung und andere Auswertungen der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse geschöpft werden kann (AP 1 und AP 2).

Diese Arbeiten werden im III. Quartal 2004 abgeschlossen.

- b. Erfassung der geologischen Fakten:

Die den Chemismus beeinflussenden geologischen Kriterien sind in vereinfachter tabellarischer Form zusammengetragen. Es werden im einzelnen dargestellt die Ausbildung der Schichtenfolge und der Tektonik im:

- Zuflusspfad zum Speichergestein
- Speichergestein
- Abflusspfad vom Speichergestein zur Austrittsstelle im Grubenfeld
(AP 1 und AP 2).

Diese Arbeiten werden gemeinsam mit der Erfassung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse Ende des III. Quartals 2004 abgeschlossen.

- c. In der begonnenen Auswertung der chemischen Analysenergebnisse konnte ein bedeutender Einfluss der natürlichen Blockierung der Salzgesteinsauflösungen festgestellt werden. Die bisher zusammengetragenen Ergebnisse lassen die Bewertung der Blockierungseffekte mit einem weitaus größeren Bearbeitungsumfang erkennen. Sie erfordern auch die Berücksichtigung der bei der bergmännisch untertägigen Aussolung gesammelten Erfahrungen (SCHWANDT, A., SCHULZE, S. (2003):

- Solender UT Salzbergbau im Nordharzrevier; Vortrag
- Tagung GGV Magdeburg 26./27. September 2003, Magdeburg.
- SCHWANDT, A. (2004): Tagesbrüche im Salzbergbau. - Geowissenschaftliches Kolloquium der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie 10.03.2004, Weimar.

Diese Arbeiten werden schwerpunktmäßig fortgesetzt. Dabei wird geprüft, inwieweit eine Erweiterung des Umfangs dieses F/E-Themas beantragt werden muss.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Modellierung der geologischen Zusammenhänge mit dem Chemismus der Salzlösungen wird im III. Quartal 2004 begonnen. Es werden einige Zusammenhänge der chemischen Analysenergebnisse mit den geologischen Verhältnissen, Teufe (und Blockierungseffekten) aufgezeigt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0973	
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten			
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 31.08.2006		Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 407.425,00 EUR		Projektleiter: Dr. Mönig	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Die neu entwickelte Messzelle für die Durchführung von Langzeitversuchen, bei denen das Feststoff/Lösungsverhältnis während des Versuches gezielt erhöht werden kann und gleichzeitig eine Probenahme der Lösung möglich ist, ohne das System zu stören, wurde erfolgreich getestet und hat ihre Praxistauglichkeit bewiesen (ELISA-Zelle). Es sind nur geringe Anpassungen bei der Befestigung einer Filterplatte notwendig.
- Batch-Untersuchungen zur Schadstoffmobilisierung aus verschiedenen Beispielabfällen unter Normalbedingungen wurden geplant und begonnen. Ergebnisse liegen noch nicht vor.
- Auf der Basis der Abfallzusammensetzung und mineralogischen Charakterisierung der Abfälle wurden geochemische Modellrechnungen zur Schadstoffmobilisierung als Vorausrechnung durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Beschaffung weiterer ELISA-Zellen und Beginn der Langzeitversuche.
- Fortsetzung der Batch-Untersuchungen zur Schadstoffmobilisierung aus den Beispielabfällen unter Normalbedingungen. In diesem Zusammenhang werden elementspezifische Auslaugfaktoren bestimmt.
- Identifizierung der Prozesse, die bei den Beispielabfällen zur Schadstofffreisetzung führen, anhand von geochemischen Modellrechnungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0983
Vorhabensbezeichnung: Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 31.08.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 651.132,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hagemann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Beginn isopiesterischer Messungen in den Systemen $\text{CrCl}_3\text{-Cr}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{-K}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$. Die Gleichgewichtseinstellung in diesen Systemen ist verhältnismäßig langsam, so dass mit Ergebnissen nicht vor Ablauf von etwa 10 Wochen zu rechnen ist.

Für Mn(II) , Co(II) und $\text{As}_2\text{O}_3(\text{aq})$ liegen mittlerweile ausreichend experimentelle Daten zur Entwicklung von vollständigen Sätzen mit Ionenwechselwirkungskoeffizienten vor. Dies erfolgt in Kürze.

Für die zu erstellende internetverfügbare Datenbasis liegt mittlerweile eine mit potentiellen Nutzern (GRS, FZK, FZR, TU Freiberg) abgestimmte Datenbankstruktur sowie eine noch leere Datenbank vor. Die Füllung der Datenbasis mit Daten erfolgt am Ende des Vorhabenszeitraumes.

4. Geplante Weiterarbeiten

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

Abschluss der isopiesterischen Versuche in den Systemen mit Cr(III) .

Beginn isopiesterischer Versuche in Systemen mit Cu(II) , Cr(VI) und Ni(II) .

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 0993
Vorhabensbezeichnung: Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und alumosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C bis 90° C		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 31.08.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 612.425,00 EUR	Projektleiter: Dr. Meyer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1 - Literaturrecherche

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

AP 3 - Löslichkeit einfacher Silikate und Aluminate

AP 4 - Parameterberechnung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Die bereits im ersten Halbjahr durchgeführte Literaturbeschaffung wurde fortgesetzt
- Mit der Bestimmung der Löslichkeiten von amorpher Kieselsäure bei einer Temperatur von 45°C in Lösungen der Salze des ozeanischen Systems wurde begonnen. Die zur Zeit untersuchten Systeme sind:
 - NaCl-H₂O-H₄SiO₄
 - KCl-H₂O-H₄SiO₄
 - CaCl₂-H₂O-H₄SiO₄
 - K₂SO₄-H₂O-H₄SiO₄

Es erfolgten Voruntersuchungen zur Löslichkeit von Gibbsit im pH-Bereich >9 bei einer Temperatur von 45°C.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: In dem folgenden Zeitraum wird die Literaturrecherche zunächst zum Abschluss kommen. Erst am Ende des Projektes wird im Abschlussbericht der dann vorhandene Stand der Forschung bezüglich der Daten über die Löslichkeit von Aluminiumoxiden, -hydroxiden, Siliziumoxiden und einfachen Alkali- und Erdalkalisilikaten in Lösungen der ozeanischen Salze (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO₄) für Temperaturen zwischen 30°C und 90°C dargestellt werden.

AP2: In dem kommenden Zeitraum sollen die Arbeiten bezüglich der Löslichkeit amorpher Kieselsäure bei höheren Temperaturen (zwischen 60°C und 90°C) in Lösungen der Salze des ozeanischen Systems bearbeitet werden.

Neben den Untersuchungen zu der Löslichkeit von Kieselsäure soll mit Löslichkeitsmessungen von Gibbsit, Al(OH)₃, im pH-Bereich >9 in den Systemen NaCl-H₂O, KCl-H₂O, CaCl₂-H₂O, Na₂SO₄-H₂O und K₂SO₄-H₂O begonnen werden. Das Verhalten von Aluminium in neutralen Lösungen wird durch Kombination von Löslichkeitsmessungen und potentiometrischen Messungen untersucht.

AP3: An einigen ausgewählten Silikaten, Aluminaten und Alumosilikaten sollen Löslichkeitsmessungen in verschiedenen Salzlösungen bei unterschiedlichen Temperaturen (bis 90°C) durchgeführt werden. Auf der Basis dieser Werte werden die Löslichkeitskonstanten dieser Verbindungen berechnet.

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: Dr. Andreas Hampel, Kleiststraße 32, 30916 Isernhagen		Förderkennzeichen: 02 C 1004
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 1		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2004 bis 28.02.2006	Berichtszeitraum: 01.04.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 158.690,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hampel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nach der Bewilligung des Verbundvorhabens wurde zunächst eine Kooperationsvereinbarung zwischen den folgenden sechs Projektpartnern geschlossen: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), Fa. Dr. Andreas Hampel, Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG), Technische Universität Clausthal (TUC) und Universität Hannover (Institut für unterirdisches Bauen, IUB).

Auf dem Start-Workshop (AP1) wurden nach der Besprechung organisatorischer Fragen die einzelnen Stoffgesetze vorgestellt und diskutiert sowie die physikalischen Phänomene festgelegt, die in den Vergleich einbezogen werden sollen. Desgleichen wurden als Vorbereitung für AP2 und AP3 der Steinsalztyp und die Laborversuche ausgewählt, anhand derer die jeweiligen Stoffgesetzparameter und die Modellrechnungen, Teil 1, durchzuführen sind. Schließlich wurde ein Vorschlag für die in AP5 und AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen erarbeitet.

Als Salztyp wurde wegen seiner Homogenität und des Umfangs der bereits vorliegenden experimentellen Ergebnisse Asse-Speisesalz (z2SP) ausgewählt. Es wurde deutlich, dass trotz der Fülle der vorliegenden Daten noch einzelne Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Vergleichsrechnungen einbeziehen zu können. Diese Versuche laufen zur Zeit bei der BGR und der TUC.

Das vorliegende Teilvorhaben 1 beteiligt sich mit dem Composite-Dilatanz-Modell an dem Stoffgesetzvergleich und verwendet das Finite-Differenzen-Programm FLAC-2D (Fa. Itasca). Da das Stoffgesetz vor kurzem wesentlich verändert und erweitert wurde, wurden die ersten drei Monate des Vorhabens (Berichtszeitraum) genutzt, um die Programme zur Bestimmung der Stoffgesetzparameter zu überarbeiten. Nach der Beschaffung der aktuellen FLAC-Version 4.0 wurde begonnen, eine C++-Version des Stoffgesetzes für seine Implementation mit Hilfe des UDM-Moduls (für *user defined models*) in FLAC zu schreiben, wodurch im Hinblick auf AP3 und AP6 eine erhebliche (und notwendige) Steigerung der Rechengeschwindigkeit im Vergleich mit der bisher verwendeten FISH-Version in FLAC erzielt werden wird.

Außerdem war der Autor in erheblichem Umfang an der Vorbereitung der Kooperationsvereinbarung und des Start-Workshops beteiligt.

4. Geplante Weiterarbeiten

In diesem Teilvorhaben wird im zweiten Halbjahr 2004 zunächst weiter an der Erstellung des C++-Codes des Composite-Dilatanz-Modells für dessen Anwendung in FLAC gearbeitet. Nach Vorliegen der noch ausstehenden Laborversuchsdaten zu AP2 und AP3 werden die Parameterbestimmung und die Vergleichsrechnungen dieser beiden Arbeitspakete abgeschlossen werden. Anschließend wird programmgemäß mit den Arbeitspaketen 5 und 6 begonnen werden. Der nächste gemeinsame Workshop mit allen Projektpartnern ist für die zweite Augsthälfte geplant und liegt damit in der Zeit der Bearbeitung von AP2 und AP3. Hier werden erste Erfahrungen und Teilergebnisse ausgetauscht sowie die Diskussion über die an dem Vergleich beteiligten Stoffgesetze und die Modellierung der einbezogenen Verformungsphänomene fortgesetzt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Hampel, A. & Hunsche, U. (2002): Extrapolation of creep of rock salt with the composite model.- In: Basic and Applied Salt Mechanics, Proc. of the 5th Conf. on the Mechanical Behavior of Salt, Bucharest 1999; Hrsg.: N. D. Cristescu, H. R. Hardy, Jr., & R. O. Simionescu; A. A. Balkema Publishers, Lisse, S. 193-202.

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30631 Hannover		Förderkennzeichen: 02 C 1014
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 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: 01.04.2004 bis 28.02.2006	Berichtszeitraum: 01.04.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 115.855,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hunsche	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nach der Bewilligung des Verbundvorhabens wurde zunächst eine Kooperationsvereinbarung zwischen den folgenden sechs Projektpartnern geschlossen: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), Fa. Dr. Andreas Hampel, Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG), Technische Universität Clausthal (TUC) und Universität Hannover (Institut für unterirdisches Bauen, IUB).

Auf dem Start-Workshop (AP1) wurden nach der Besprechung organisatorischer Fragen die einzelnen Stoffgesetze vorgestellt und diskutiert sowie die physikalischen Phänomene festgelegt, die in den Vergleich einbezogen werden sollen. Desgleichen wurden als Vorbereitung für AP2 und AP3 der Steinsalztyp und die Laborversuche ausgewählt, anhand derer die jeweiligen Stoffgesetzparameter und die Modellrechnungen, Teil 1, durchzuführen sind. Schließlich wurde ein Vorschlag für die in AP5 und AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen erarbeitet.

Als Salztyp wurde wegen seiner Homogenität und des Umfangs der bereits vorliegenden experimentellen Ergebnisse Asse-Speisesalz (z2SP) ausgewählt. Es wurde deutlich, dass trotz der Fülle der vorliegenden Daten noch einzelne Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Vergleichsrechnungen einbeziehen zu können. Diese Versuche laufen zur Zeit bei der BGR und der TUC.

Das vorliegende Teilvorhaben 2 beteiligt sich mit dem Composite-Dilatanz-Modell an dem Stoffgesetzvergleich. Verwendet wird das neu entwickelte FE-Programm JIFE, das von der Firma SRD, Berlin, in enger Zusammenarbeit mit der BGR entwickelt wird und das sich als sehr flexibel und schnell erweist. Es ist im Übrigen auch auf PCs lauffähig. Das CDM-Modell ist in Vorbereitung auf die anstehenden Modellrechnungen in den letzten Monaten in JIFE implementiert worden und wird derzeit getestet.

Im Berichtszeitraum war die BGR in erheblichem Umfang an der Vorbereitung der Kooperationsvereinbarung und des Startworkshops sowie bei dessen Durchführung bei der BGR und der Nachbereitung beschäftigt. Ferner wurden die vorhandenen Versuche gesichtet und geeignete herausgefiltert. Es zeigt sich, dass voraussichtlich noch Versuche durchgeführt werden müssen. Dieses wird in Kooperation mit der TU Clausthal erledigt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Ferner werden die Implementation und der Test der endgültigen Version des CDM-Modells abgeschlossen. Die noch erforderlichen Versuche werden erledigt und die Daten verteilt. Im weiteren Verlauf werden AP2 und AP3 erledigt und nach dem Workshop (AP3) mit den AP 5 und 6 begonnen werden. Der nächste gemeinsame Workshop ist für den 24.7.2004 bei der BGR geplant. Hier werden die ersten Erfahrungen und Teilergebnisse ausgetauscht sowie die Vorstellung und Diskussion der beteiligten Stoffgesetze fortgesetzt und die nächsten Schritte geplant.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Hampel, A. & Hunsche, U. (2002): Extrapolation of creep of rock salt with the composite model.- In: Basic and Applied Salt Mechanics, Proc. of the 5th Conf. on the Mechanical Behavior of Salt, Bucharest 1999; Hrsg.: N. D. Cristescu, H. R. Hardy, Jr., & R. O. Simionescu; A. A. Balkema Publishers, Lisse, S. 193-202.

Zuwendungsempfänger: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 C 1024
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 3		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2004 bis 28.02.2006	Berichtszeitraum: 01.04.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 143.110,00 EUR	Projektleiter: Dr. Salzer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP 1: Start-Workshop aller Projektpartner

AP 2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten.

AP 3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil I).

AP 4: Durchführung mehrerer Interim-Workshops und weiterer Treffen mit den Projektpartner. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse der Modellrechnungen durch die Projektpartner.

AP 5: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen aus Laborversuchsdaten.

AP 6: Modellierung untertägiger Strukturen im Steinsalz (Modellrechnungen, Teil II).

AP 7: Dokumentation der Einzelergebnisse der Projektpartner.

AP 8: Vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse.

AP 9: Formulierung von Empfehlungen zur Anwendung der Stoffgesetze/Verfahrensweisen.

AP 10: Ergebnis-Workshop mit allen Projektpartnern.

AP 11: Dokumentation der Ergebnisse - Erstellung eines Abschlussberichtes und Verfassen einer Veröffentlichung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1: Start-Workshop aller Projektpartner

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 2: Bestimmung der Stoffgesetzparameter für die in AP3 zu berechnenden Laborversuche aus Laborversuchsdaten.

AP 3: Modellierung von Laborversuchen (Modellrechnungen, Teil I).

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2a, 38670 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 1034
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2004 bis 28.02.2006	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 60.178,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hou	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nach der Bewilligung des Verbundvorhabens wurde zunächst eine Kooperationsvereinbarung zwischen den folgenden sechs Projektpartnern geschlossen: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), Fa. Dr. Andreas Hampel, Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG), Technische Universität Clausthal (TUC) und Universität Hannover (Institut für unterirdisches Bauen, IUB).

Auf dem Start-Workshop (AP1) wurden nach der Besprechung organisatorischer Fragen die einzelnen Stoffgesetze vorgestellt und diskutiert sowie die physikalischen Phänomene festgelegt, die in den Vergleich einbezogen werden sollen. Desgleichen wurden als Vorbereitung für AP2 und AP3 der Steinsalztyp und die Laborversuche ausgewählt, anhand derer die jeweiligen Stoffgesetzparameter und die Modellrechnungen, Teil 1, durchzuführen sind. Schließlich wurde ein Vorschlag für die in AP5 und AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen erarbeitet.

Als Salztyp wurde wegen seiner Homogenität und des Umfangs der bereits vorliegenden experimentellen Ergebnisse Asse-Speisesalz (z2SP) ausgewählt. Es wurde deutlich, dass trotz der Fülle der vorliegenden Daten noch einzelne Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Vergleichsrechnungen einbeziehen zu können. Diese Versuche laufen zur Zeit bei der BGR und der TUC.

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

4. Geplante Weiterarbeiten

Nach Vorliegen der noch ausstehenden Laborversuchsdaten zu AP2 und AP3 werden im zweiten Halbjahr 2004 die Parameterbestimmung und die Vergleichsrechnungen dieser beiden Arbeitspakete abgeschlossen werden. Anschließend wird programmgemäß mit den Arbeitspaketen 5 und 6 begonnen werden. Der nächste gemeinsame Workshop mit allen Projektpartnern ist für die zweite Augushälfte geplant und liegt damit in der Zeit der Bearbeitung von AP2 und AP3. Hier werden erste Erfahrungen und Teilergebnisse ausgetauscht sowie die Diskussion über die an dem Vergleich beteiligten Stoffgesetze und die Modellierung der einbezogenen Verformungsphänomene fortgesetzt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Hou, Z. (2002): Geomechanische Planungskonzepte für untertägige Tragwerke mit besonderer Berücksichtigung von Gefügeschädigung, Verheilung und hydromechanischer Kopplung. Habilitationsschrift an der TU Clausthal.

Hou, Z. (2003): Mechanical and hydraulic behaviour of salt in the excavation disturbed zone around underground facilities. *Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 40/Issue 5, 2003, pp. 725-738.

Lux, K.-H.; Hou, Z. und Xie, Z. (2003): Ein Kopplungskonzept zur Beschreibung der hydromechanischen Wechselwirkungen in den aufgelockerten Konturzonen um ein Abdichtungsbauwerk im Salzgebirge. *Bauingenieur*, Band 78, (11).

Hou, Z. & Lux, K.-H. (2003): Numerical identification of the excavation damaged zone in rock salt. *Proceedings of 10th international congress on rock mechanics*, South Africa, 2003.

Hou, Z. und Lux, K.-H. (2004): A new coupling concept for hydro-mechanical interaction of clay stone and rock salt in underground waste repositories. *Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 41/Issue 3, 2004, pp. 495-495 (full paper with 6 pages in the CD on the inside back cover of this special issue).

Zuwendungsempfänger: Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover		Förderkennzeichen: 02 C 1044
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2004 bis 28.02.2006	Berichtszeitraum: 01.04.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 58.278,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Rokahr	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nach der Bewilligung des Verbundvorhabens wurde zunächst eine Kooperationsvereinbarung zwischen den folgenden sechs Projektpartnern geschlossen: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), Fa. Dr. Andreas Hampel, Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG), Technische Universität Clausthal (TUC) und Universität Hannover (Institut für unterirdisches Bauen, IUB).

Auf dem Start-Workshop (AP1) wurden nach der Besprechung organisatorischer Fragen die einzelnen Stoffgesetze vorgestellt und diskutiert sowie die physikalischen Phänomene festgelegt, die in den Vergleich einbezogen werden sollen. Desgleichen wurden als Vorbereitung für AP2 und AP3 der Steinsalztyp und die Laborversuche ausgewählt, anhand derer die jeweiligen Stoffgesetzparameter und die Modellrechnungen, Teil 1, durchzuführen sind. Schließlich wurde ein Vorschlag für die in AP5 und AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen erarbeitet.

Als Salztyp wurde wegen seiner Homogenität und des Umfangs der bereits vorliegenden experimentellen Ergebnisse Asse-Speisesalz (z2SP) ausgewählt. Es wurde deutlich, dass trotz der Fülle der vorliegenden Daten noch einzelne Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Vergleichsrechnungen einbeziehen zu können. Diese Versuche laufen zur Zeit bei der BGR und der TUC.

Das vorliegende Teilvorhaben 5 beteiligt sich mit dem Stoffgesetz IUB-MDCF an dem Stoffgesetzvergleich und verwendet einerseits die Software mathcad 11, andererseits das im Institut für Unterirdisches Bauen entwickelte Programm UT2D. Die ersten drei Monate des Vorhabens wurden dazu genutzt, noch ausstehende Teile des Stoffgesetzes in mathcad und in UT2D einzubinden. Des Weiteren wurden die beim Startworkshop festgelegten Versuche in den verwendeten Programmsystemen vorbereitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

In diesem Teilvorhaben werden im zweiten Halbjahr 2004 nach Vorliegen der noch ausstehenden Laborversuchsdaten zu AP2 und AP3 die Parameterbestimmung und Vergleichsrechnungen abgeschlossen werden. Anschließend wird programmgemäß mit den Arbeitspaketen 5 und 6 begonnen werden. Der nächste gemeinsame Workshop mit allen Projektpartnern ist für die zweite Augushälfte geplant und liegt damit in der Zeit der Bearbeitung von AP2 und AP3. Hier werden erste Erfahrungen und Teilergebnisse ausgetauscht sowie die Diskussion über die an dem Vergleich beteiligten Stoffgesetze und die Modellierung der einbezogenen Verformungsphänomene fortgesetzt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

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

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 C 1054
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 6		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2004 bis 28.02.2006	Berichtszeitraum: 01.04.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 31.980,00 EUR	Projektleiter: Pudewills	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nach der Bewilligung des Verbundvorhabens wurde zunächst eine Kooperationsvereinbarung zwischen den folgenden sechs Projektpartnern geschlossen: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), Fa. Dr. Andreas Hampel, Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG), Technische Universität Clausthal (TUC) und Universität Hannover (Institut für unterirdisches Bauen, IUB).

Auf dem Start-Workshop (AP1) wurden nach der Besprechung organisatorischer Fragen die einzelnen Stoffgesetze vorgestellt und diskutiert sowie die physikalischen Phänomene festgelegt, die in den Vergleich einbezogen werden sollen. Desgleichen wurden als Vorbereitung für AP2 und AP3 der Steinsalztyp und die Laborversuche ausgewählt, anhand derer die jeweiligen Stoffgesetzparameter und die Modellrechnungen, Teil 1, durchzuführen sind. Schließlich wurde ein Vorschlag für die in AP5 und AP6 zu berechnenden Untertagestrukturen erarbeitet.

Als Salztyp wurde wegen seiner Homogenität und des Umfangs der bereits vorliegenden experimentellen Ergebnisse Asse-Speisesalz (z2SP) ausgewählt. Es wurde deutlich, dass trotz der Fülle der vorliegenden Daten noch einzelne Verformungsversuche im Labor durchzuführen sind, um möglichst verschiedene Verformungsphänomene in die Vergleichsrechnungen einbeziehen zu können. Diese Versuche laufen zur Zeit bei der BGR und der TUC.

Im Rahmen des Verbundvorhabens beteiligt sich das INE (Teilvorhaben 6) mit den vorhandenen Stoffmodellen an den Vergleichsrechnungen und verwendet primär das Finiten-Elemente Programm MAUS und das kommerzielle Programmsystem ADINA (<http://www.adina.com>). Zur Beschreibung der volumetrischen Verformung (Dilatanz) und der Schädigung von Steinsalz wurde bereits im Rahmen des EU-Projekts BAMBUS ein viskoplastisches Stoffmodell entwickelt und im Programm MAUS implementiert. Im Mittelpunkt der Arbeit während der ersten drei Monate dieses Vorhabens wurde das Modell weiterentwickelt und an die zu lösenden Aufgaben angepasst, sowie auch für einfache Testrechnungen eingesetzt. Weiterhin wurden die im ADINA Programm vorhandenen zahlreichen Stoffmodelle getestet und die zugrunde liegenden theoretischen Ansätze zusammengestellt, um dann das passende Stoffmodell auszuwählen und gegebenenfalls zu erweitern.

4. Geplante Weiterarbeiten

In diesem Teilvorhaben wird im zweiten Halbjahr 2004 zunächst weiter an der Erstellung einer „User-Subroutine“ und dem Einbau ins Programm ADINA zur Beschreibung der volumetrischen Verformung und dem Bruchverhalten von Steinsalz gearbeitet. Nach Vorliegen der noch ausstehenden Laborversuchsdaten zu AP2 und AP3 werden die Parameterbestimmung und die Vergleichsrechnungen dieser beiden Arbeitspakete abgeschlossen sein. Anschließend wird programmgemäß mit den Arbeitspaketen 5 und 6 begonnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Pudewills, A., Krauss, M., „Implementation of a viscoplastic model for crushed salt in the ADINA program“, Computers and Structures, vol. 72, pp. 293-99, 1999.

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

Zuwendungsempfänger: Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Amalienstraße 13, 99404 Weimar		Förderkennzeichen: 02 C 1064
Vorhabensbezeichnung: Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichte- verteilungen in Bentonitversuchsbauwerken		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2004 bis 30.04.2007	Berichtszeitraum: 01.05.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 394.979,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kupfer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Eine genaue Feuchte- und Dichtebestimmung im Bentonit setzt voraus, dass die dielektrischen Materialeigenschaften und der Einfluss von komplex wirkenden Störgrößen bekannt sind. Die Eigenschaften von Bentonit werden deshalb in wässriger und salinärer Umgebung unter dem Einfluss verschiedener Störgrößen mit analytischen Verfahren und bezüglich der dielektrischen Eigenschaften mit Netzwerkanalysatoren in einem breiten Frequenzbereich untersucht.

Bei dielektrischen Messverfahren sind Feuchte und Dichte Funktionen der komplexen Permittivität (Dielektrizitätskonstante). Real- und Imaginärteil der komplexen Permittivität können mit Hilfe der S-Parameter berechnet werden (Nicholson-Ross-Verfahren). Bei Anwendung des TDR-Messverfahrens ist aufgrund der steilen Impulsflanke von ≤ 200 ps die Bestimmung der S-Parameter in einem breiten Frequenzbereich von 100 kHz bis 20 GHz notwendig. Dazu wird die Materialprobe in eine am Netzwerkanalysator angeschlossene koaxiale Messleitung eingefüllt und aus den gemessenen S-Parametern die dielektrischen Eigenschaften der Probe berechnet. Die genaue Messung der S-Parameter und damit der komplexen Permittivität ist auch für die Simulation mit HFSS (High Frequency Structure Simulator) von grundlegender Bedeutung (s. AP2).

Folgende Arbeiten wurden bisher durchgeführt:

- Grundlagen zur Dimensionierung konischer Koaxialmessleitungen für die Messung größerer Materialprobenmengen
- Algorithmen zur Berechnung der komplexen Permittivität aus den gemessenen komplexen S-Parametern
- Messung der S-Parameter kleinerer Probenmengen mit vorhandenen koaxialen Messleitungen zur Überprüfung der entwickelten Algorithmen
- Entwurf einer automatisierten Messwerterfassungseinheit, bestehend aus Netzwerkanalysator, koaxialer Messleitung und einem Computer mit einer Materialsoftware auf Basis der entwickelten Rechenalgorithmen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1:

- Entwicklung und Herstellung einer koaxialen Messleitung zur Bestimmung der S-Parameter von größeren Probenmengen
- Implementierung der Materialsoftware auf Basis der Algorithmen zur Berechnung der komplexen Permittivität aus den gemessenen S-Parametern
- Messungen an Bentonitproben mit unterschiedlichen Feuchten, Dichten und Zusammensetzungen

AP2:

- Elektromagnetische Feldsimulationen zur Feuchte- und Dichtebestimmung auf der Basis der gemessenen Bentonitproben
- Modellentwicklung für die Simulation mit HFSS zur Rekonstruktion von Feuchte- und Dichteverteilungen

AP9:

- Pflichtenheft und Konzeption für ein Untertage-TDR-Messsystem

5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

2.4 W-Vorhaben

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: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 344.241,00 EUR	Projektleiter: Dr. Stein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am 28.4. fand in Berlin bei der DGAP eine Projektgruppensitzung statt. Es wurden folgende Themen behandelt:

- Die vergebliche Suche nach Massenvernichtungswaffen im Irak: Folgerungen für die Nachrichtendienste und für die Nichtverbreitungspolitik
- Krise der Exportkontrolle?
- Der 7-Punkte-Plan der US-Regierung zur Reform des NV-Vertrages und der IAEO: Ziele, Voraussetzungen und Probleme

4. Geplante Weiterarbeiten

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

5. Berichte, Veröffentlichungen

M. Stein, G. Stein, B. Richter und C. Jorant:
Multi-or Internationalization of the Nuclear Fuel Cycle: Revisiting the Issue,
Journal of the Institute of Nuclear Materials Management, July 2004, in Druck.

Zuwendungsempfänger: FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		Förderkennzeichen: 02 W 6243
Vorhabensbezeichnung: Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2003 bis 31.07.2007	Berichtszeitraum: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
Gesamtkosten des Vorhabens: 769.798,00 EUR	Projektleiter: Dr. Stein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Programmpunkte und Arbeitspakete sind

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Fernerkundung: In der Sprache IDL wurde ein Programm-Modul für die unüberwachte Klassifizierung von Änderungen in multispektralen Satellitenbildern geschrieben und mit Daten vom Nevada Test Site erfolgreich eingesetzt. Erste Ergebnisse sind als Beitrag zum 2004 Symposium der Society of Photo-optical Instrumentation Engineers eingereicht und angenommen worden. Weiterhin wurden hochauflösende QUICKBIRD-Satellitendaten der Nuklearanlagen in Isfahan (Iran) angeschafft.
- Geologische Endlagerung: Vorbereitung und Teilnahme an zwei Expertentreffen im April in Wien und im Juni in Salzgitter; Erstellung des Wien-Ergebnisberichts; Erstellung eines Berichts über die Anwendbarkeit geophysikalischer Methoden für Safeguards.
- ESARDA: Vorbereitung und Durchführung (im Rahmen der Jahrestagung im Juni in Luxemburg) von Sitzungen der Arbeitsgruppen Containment and Surveillance, Integrated Safeguards und Verification Technologies and Methodologies mit Vorträgen; Erstellung der Ergebnisberichte; Teilnahme an der Board-Sitzung im Februar.
- Zusatzprotokoll (ZP): Unterstützung der deutschen Betreiber bei der Erstellung der ersten Expanded Declaration nach Inkrafttreten des ZP am 30.04.04; Gespräche mit den USA.
- Unattended Remote Monitoring and Measurement Systems: Teilnahme an einem Expertentreffen im Januar in Wien über zukünftige Siegel und Containment Verifizierung; Erstellung des Ergebnisberichts; Bewertung der Bestrahlungstestkriterien und –ergebnisse des Electronic Optical Sealing System; Auswertung des Usability Review von EOSS; Festlegung und Dokumentation der Hardware-Spezifikationen des Digital Unattended Multi-channel Analyzer.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fernerkundung: Mit Hilfe von bitemporalen QUICKBIRD-Daten und eines aus ASTER-Bildern errechneten Höhenmodells soll versucht werden, eine Orthorektifizierung, eine panchromatische Fusion sowie eine objektorientierte Änderungsdetektion durchzuführen.
- Geologische Endlagerung: Erstellung und Abstimmung des Salzgitter-Ergebnisberichts.
- ESARDA: Arbeitspläne für Arbeitsgruppen und Vorbereitung der nächsten Sitzungen.
- Zusatzprotokoll: Unterstützung der Betreiber bei ihren Deklarationspflichten.
- Unattended Systems: Implementierung von EOSS und Vorbereitung der Tests von DIUM.

5. Berichte, Veröffentlichungen

K. Seidel, R. Scheibe, M. Vormbaum; “Model Investigations on the Applicability of Ground Penetrating Radar and other Geoelectrical Methods in Monitoring Design Information of Repositories for Spent Fuel in Rock Salt, Clay/Clay Stone and Crystalline Rock”; BMWA/IAEA Joint Programme, Bericht Nr. 345, Februar 2004.

M.J. Canty, A.A. Nielsen, M. Schmidt; “Automatic Radiometric Normalization of Multispectral Imagery”; Remote Sensing of Environment 91(3,4) 2004, 441-451.

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: 01.01.2004 bis 30.06.2004	
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 in die wissenschaftlichen Programme mit internationaler Beteiligung eingebunden, die in den Untertagelabors (URL) Felslabor Grimsel (CH), HRL Äspö (S), Mt. Terri (CH) und Bure (F) durchgeführt werden.

Die von BMWA geförderten Vorhaben werden von DBE Technology, FZR und GRS durchgeführt. Sie werden ausführlicher in den formalisierten Zwischenberichten in Kapitel 2.1 beschrieben. Die BGR und das FZK/INE beteiligen sich mit Projekten, die durch Haushaltsmittel bzw. Institutsmittel finanziert werden, an den Untersuchungen in den URL.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

(Vorhaben 02E9198, 02E9249, 02E9279, 02E9390, 02E9491, 02E9743, FZK/INE, BGR)

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

(Vorhaben 02E9400, 02E9501, 02E9531, 02E9602, 02E9713, 02E9773, 02E9834, 02E9894, 02E9914, FZK/INE, BGR)

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

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Vorhaben sind eingebunden in internationale Projekte und werden z. T. von der EC im Rahmen des FP6 kofinanziert. Innerhalb der Vorhaben wurden die folgenden Arbeiten ausgeführt:

Hartgestein/Granit

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

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

Ton/Tonstein

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

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

Die Ergebnisse sind in den jeweiligen Vorhaben dokumentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im Berichtszeitraum waren insgesamt 15 Vorhaben in die internationalen Programme zur Untersuchung alternativer Wirtsgesteine eingebunden. Die Laufzeit von vier Vorhaben endete im Berichtszeitraum (02E9279, 02E9400 und 02E9501, 02E9773). Im zweiten Halbjahr 2004 endet die Laufzeit von vier weiteren der unter Punkt 2. aufgeführten FuE-Vorhaben.

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

Im zweiten Halbjahr 2004 wird der Projektträger ein Informationsgespräch der in internationalen FuE-Programmen aktiven Forschungsstellen realisieren.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Siehe Berichte zu den einzelnen Vorhaben in Kapitel 2.1.

3 Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen

Dr. Andreas Hampel, Kleiststraße 32, 30916 Isernhagen		
02 C 1004	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 1	153
Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99421 Weimar		
02 C 0881	Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitmischen als Dichtelement	131
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30631 Hannover		
02 C 1014	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 2	155
BUTEC Umwelttechnik GmbH, Düsseldorfer Straße 32-34, 65760 Eschborn		
02 E 9864	Selbstheilungseffekte in Tongestein bei hohen Temperaturen - Teilvorhaben WP 4.4 des Integrated Project NF-PRO des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission	101
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	16
02 E 9511	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)	34
02 E 9521	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)	36
02 E 9531	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen	38
02 E 9571	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen	44
02 E 9612	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	52
02 E 9733	Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein	75
02 E 9743	Messtechnische und modelltheoretische Untersuchungen zum THM-Verhalten einer Bentonit-Barriere im Bereich des Phasenübergangs der Porenflüssigkeit unter Einsatz faseroptischer Technologie im Rahmen von Versuchen im URL Äspö	77
02 E 9854	Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1)	99

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

- | | | |
|-----------|--|-----|
| 02 E 9803 | Untersuchungen zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager | 89 |
| 02 W 6232 | Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen | 169 |
| 02 W 6243 | Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen | 171 |

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

- | | | |
|-----------|---|-----|
| 02 C 1054 | Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 6 | 163 |
| KWA 2003 | Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine | 175 |

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

- | | | |
|-----------|--|----|
| 02 E 9471 | Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle | 26 |
| 02 E 9491 | Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters | 30 |
| 02 E 9673 | Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen | 63 |

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

- | | | |
|-----------|--|-----|
| 02 C 0689 | Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien | 117 |
| 02 C 0710 | Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten | 119 |
| 02 C 0830 | Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar | 127 |
| 02 C 0912 | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien | 135 |
| 02 C 0963 | Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analyseergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands | 145 |
| 02 C 0973 | Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen | 147 |
| 02 C 0983 | Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen | 149 |
| 02 C 0993 | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30° C und 90° C | 151 |
| 02 E 9198 | Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel (Phase V) | 12 |

02 E 9239	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern	14
02 E 9279	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“	18
02 E 9390	Untersuchungen zur Gasentwicklung und –freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt „Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock – Phase II“ FEBEX II	20
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	22
02 E 9440	Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Iod und Selen im Nahbereich eines Endlagers	24
02 E 9501	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinustons im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor	32
02 E 9551	Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen	40
02 E 9561	Modellentwicklung zur Quellung hochkompaktierter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 – 120°	42
02 E 9592	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2	48
02 E 9602	Untersuchungen zur Gaserzeugung und –freisetzung sowie dem Wassergehalt und der Wasserumverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels	50
02 E 9622	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein	54
02 E 9713	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager, - SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor, Vorprojekt	71
02 E 9723	Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen	73
02 E 9773	Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor	83
02 E 9783	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	85
02 E 9813	Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen	91
02 E 9824	Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Addigas)	93
02 E 9834	Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verheilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen – LUVEAT	95
02 E 9844	NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment	97

- 02 E 9884 Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen  105
- 02 E 9894 Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt  107
- 02 E 9914 Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mt. Terri Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ  111

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  141

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  133
- 02 C 1024 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 3  157
- 02 E 9582 Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2  46
- 02 E 9874 Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation  103
- 02 E 9904 Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein  109

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)  139
- 02 E 9663 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Entwicklung und Einsatz von Radiotracer für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen  61
- 02 E 9753 Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracerverfahren  79

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55122 Mainz

- 02 E 9653 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit  59

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

- 02 C 0800 Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlussbauwerken in salinärer Umgebung  123
- 02 C 1064 Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken  165

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

- 02 E 9793 Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  87

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

- 02 E 9703 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen  69

TU Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg

- 02 C 0820 Zeitliche Veränderungen der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften  125

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

- 02 C 0720 Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barriereintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie  121
- 02 C 0841 Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten  129
- 02 C 0952 Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge  143
- 02 C 1034 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 4  159
- 02 E 9632 Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein  56

Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München

- 02 E 9693 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe  67
- 02 E 9763 Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden  81

Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66123 Saarbrücken

- 02 E 9683 Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer – Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure – Metall - Kaolinit  65

Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover

02 E 9481 Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren  28

02 C 1044 Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen – Teilvorhaben 5  161

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  137

Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14415 Potsdam

02 E 9924 Verbundprojekt: Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Humin-Metall-Komplexierung (Teilantrag im Verbund „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“)  113