

Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft

PTE Nr. 35

Bericht über die im ersten Halbjahr 2008
vom BMBF und BMWi geförderten FuE-Arbeiten zur
„Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen

Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe
Wassertechnologie und Entsorgung
(PTKA-WTE)

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
September 2008

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 betreut im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) als Projektträgerschaft FuE-Vorhaben auf dem Gebiet „Entsorgung“. Dieses umfasst die FuE-Arbeiten, die in den Förderkonzepten „Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen“ und „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle“ sowie dessen Fortschreibungen 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 Forschungszentrum Karlsruhe fachlich und administrativ die vom BMBF und BMWi im Rahmen des Förderkonzepts geförderten FuE-Vorhaben. Die Betreuung der FuE-Vorhaben erfolgt für folgende Referate in den beiden Ministerien:

Endlagerung radioaktiver Abfälle	BMWi Referat III B3
Untertägige Entsorgung chemotoxischer Abfälle	BMBF Referat 724
Sicherheitsforschung für Bergbauregionen - Prozessanalyse und Prognosewerkzeuge für Bergschadensgebiete	BMBF Referat 724
Kernmaterialüberwachung	BMWi Referat III B4

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

Dem Bericht liegt folgendes Gliederungsprinzip zugrunde:

Im *Teil 1* sind die FuE-Vorhaben dem jeweiligen *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 „Sicherheitsforschung für Bergbauregionen - Prozessanalyse und Prognosewerkzeuge für Bergschadensgebiete“,
- W ⇒ „Kernmaterialüberwachung“

Die vom BMWi 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>Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse</i>	<i>5</i>
1.3	<i>Kernmaterialüberwachung.....</i>	<i>11</i>
1.4	<i>Sicherheitsforschung für Bergbauregionen - Prozessanalyse und Prognosewerkzeuge für Bergschadensgebiete</i>	<i>13</i>
2	Formalisierte Zwischenberichte	15
2.1	E-VORHABEN	15
2.2	C-VORHABEN.....	139
2.3	W-VORHABEN.....	243
2.4	BMW _I -HAUSVORHABEN.....	247
3	Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....	251

1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen

1.1 Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche

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	📖 144
02 C 1064	Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken	Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität, Weimar	📖 146
02 C 1074	Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover	📖 148
02 C 1084	Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems	Bergische Universität Wuppertal	📖 150
02 C 1094	Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit	DMT GmbH, Essen	📖 152
02 C 1104	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme	Bauhaus-Universität Weimar	📖 154
02 C 1114	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme	Eberhard-Karls-Universität Tübingen	📖 156
02 C 1124	Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke	TU Bergakademie Freiberg	📖 158
02 C 1134	Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 160

02 C 1184	Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar	Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München	📖 170
02 C 1194	Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthfrequenz-Radar	TU Ilmenau	📖 172
02 C 1204	Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leicht löslichen Salzgestein (Carnallit); Teil 2: Erprobung von Funktionselementen in situ	GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG	📖 174
02 C 1305	Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt Uni Leipzig: Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung	Universität Leipzig	📖 188
02 C 1315	Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt GGA: Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen	Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Hannover	📖 190
02 C 1325	Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt FhG: Sonarverfahren	Fraunhofer Gesellschaft z. Förderung d. angewandten Forschung e.V. (FhG), München	📖 192
02 C 1335	Qualifizierung von Strömungsbarrieren in Salzformationen, Phase 1 bis Phase 4	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 194
02 C 1395	Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 1	K-UTEK Salt Technologies, Sondershausen	📖 198
02 C 1405	Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 2	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 200
02 C 1415	Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 3	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 202
02 C 1426	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 204
02 C 1436	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZD	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden	📖 206

02 C 1446	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben TU BAF	TU Bergakademie Freiberg	📖 208
02 C 1456	Bestimmung der Änderung des räumlichen und zeitlichen Ausbreitungsverhaltens von chemotoxischen Schwermetallen nach Wechselwirkung mit Natural Organic Matter (NOM) in geologischen Formationen von Untertagedeponien	IIF e.V., Leipzig	📖 210
02 E 9854	Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 22
02 E 9965	Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA	DBE Technology GmbH, Peine	📖 32
02 E 9975	Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 34
02 E 9985	Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden	📖 36
02 E 10025	Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung	Leibniz Universität Hannover	📖 42
02 E 10035	Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorganohuminkolloiden	TU München	📖 44
02 E 10045	Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 46
02 E 10075	Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lösungen bei Temperaturen bis 90 °C – Kurztitel: FeT90	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 52
02 E 10086	Untersuchungen zur Auswirkung einer Temperaturerhöhung in Tonformationen in Deutschland im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit eines Endlagers und irreversible Veränderungen der potenziellen Wirtsgesteine - TemTon-	DBE Technology GmbH, Peine	📖 54
02 E 10286	Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tongestein (ERATO)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 92
KWA 9003	Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	📖 248

1.2 Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse

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 Karlsruhe (TH)	📖 140
02 C 0952	Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 142
02 C 1144	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-FZD)	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden	📖 162
02 C 1154	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)	DMT GmbH, Essen	📖 164
02 C 1164	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 166
02 C 1174	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-EnviCon)	Dr. Veerhoff & Scherschel GbR erd_sicht, Alfter	📖 168
02 C 1244	Prognose der Redoxeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 176
02 C 1254	Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Depositionsfeld einer UTD	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 178
02 C 1264	Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salinarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 180
02 C 1275	Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt TUC: Gekoppelte Modellierung des C:HM Verhaltens von selbstverheilendem Salzversatz	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 182

- | | | | |
|------------------|---|--|-------|
| 02 C 1285 | Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt GRS: Laborversuche und Geochemische Modellierung | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 📖 184 |
| 02 C 1295 | Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt Uni Tübingen: Validierung Numerischer Modelle für geochemische Prozesse in geotechnischen Dichteelementen | Eberhard-Karls-Universität Tübingen | 📖 186 |
| 02 C 1355 | Weiterentwicklung der EDV-Software INFIL zur Simulation des druckbetriebenen Infiltrationsprozesses von Fluiden in ein nicht permeables Barrierengebirge (Salinar) | TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld | 📖 196 |
| 02 C 1577 | Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 1 | Dr. Andreas Hampel, Bingen | 📖 232 |
| 02 C 1587 | Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 2 | IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig | 📖 234 |
| 02 C 1597 | Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 3 | Forschungszentrum Karlsruhe GmbH | 📖 236 |
| 02 C 1607 | Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 4 | Leibnitz Universität Hannover | 📖 238 |
| 02 C 1617 | Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 5 | TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld | 📖 240 |
| 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 | 📖 16 |
| 02 E 9783 | Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln | 📖 18 |


02 E 9793	Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen	Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Freiburg	📖 20
02 E 9894	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 24
02 E 9934	Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 26
02 E 9944	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 28
02 E 9954	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 30
02 E 9985	Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden	📖 36
02 E 9995	Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz - FUNMIG-RTDC-5	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 38
02 E 10015	Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein	Technische Universität Darmstadt	📖 40
02 E 10055	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 48
02 E 10065	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL	DBE Technology GmbH, Peine	📖 50
02 E 10096	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	📖 56
02 E 10106	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 58
02 E 10116	Barriereintegrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs in Tonformationen (BET)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 60
02 E 10126	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZ Karlsruhe	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	📖 62

02 E 10136	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZD	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden	📖 64
02 E 10146	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 66
02 E 10156	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden	📖 68
02 E 10166	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit natürlichem Tongestein	Johannes Gutenberg-Universität Mainz	📖 70
02 E 10176	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Beiträge zur Modellierung des Actinidentransports in potenziellen Wirtsgesteinsformationen; Teilthema 1: Mobilitätsbestimmende Elementarprozess; Teilthema 2: Einfluss heterogener Strukturen auf den Lösungs-Kolloidtransport	IIF e.V., Leipzig	📖 72
02 E 10186	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Quantenmechanische Modellierung von Aktinoidenkomplexen: Komplexierung durch Huminstoffe und Sorption an Tonmineralien	Technische Universität München	📖 74
02 E 10196	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Untersuchungen zur Migration von Lanthaniden und Uran in natürlichen Tonformationen im Übergang von verdünnten Mineral-Suspensionen zu kompakten Tonen	Universität des Saarlandes, Saarbrücken	📖 76
02 E 10206	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Einfluss von tonorganischen Substanzen auf die Rückhaltung von Actiniden in der Tonbarriere	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	📖 78
02 E 10216	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Spektroskopische Untersuchungen zum erweiterten Prozessverständnis in binären und ternären Huminstoff-Tongestein - Lanthanoid-Systemen: Thermodynamische und kinetische Kenngrößen	Universität Potsdam	📖 80
02 E 10226	Gasmigration im Opalinus Ton in Abhängigkeit vom Gasinjektionsdruck (unterhalb des Fracdruckes) Kurztitel: HG-C	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 82
02 E 10236	Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 84
02 E 10246	Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 86

02 E 10256	Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig	📖 88
02 E 10276	Weiterentwicklung sicherheitsanalytischer Methoden zur Vorbereitung eines Safety Case in Deutschland -WESAM-	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 90
02 E 10296	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Visualisierung und Datenanalyse	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn	📖 94
02 E 10306	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Entwicklung effizienter Diskretisierungsverfahren für die zu entwickelnden numerischen Verfahren zur Datenanalyse	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	📖 96
02 E 10316	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Skalierung von halinen und thermohalinen Strömungen	Friedrich-Schiller-Universität Jena	📖 98
02 E 10326	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Modellierung des Wärmetransports und Modellierung freier Oberflächen	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	📖 100
02 E 10336	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 102
02 E 10346	Entwicklung und Umsetzung von technischen Konzepten für tiefe geologische Endlager in allen Wirtsgesteinen (EUGENIA)	DBE Technology GmbH, Peine	📖 104
02 E 10357	Wechselwirkung mobilisierter Radionuklide mit sekundären Phasen in endlagerrelevanten Formationswässern	Forschungszentrum Jülich GmbH	📖 106
02 E 10367	Anpassung des EMOS-Programmsystems an moderne Softwareanforderungen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 108
02 E 10377	Untersuchung der THM-Prozesse im Nahfeld von Endlagern in Tonformationen	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 110
02 E 10387	Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 112
02 E 10397	Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX	Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Freiburg	📖 114
02 E 10407	Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX	DBE Technology GmbH, Peine	📖 116



02 E 10417	Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit der Komplexbildung und Sorption dreiwertiger Actinide Am(III), Pu(III) im System Actinid-NOM-natürliches Tongestein-Aquifer	TU Dresden	📖 118
02 E 10427	Untersuchungen zur Validierung von Modellansätzen für Tongestein anhand von Feldexperimenten am Standort Tournemire (F) im Rahmen DECOVALEX-THMC	TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld	📖 120
02 E 10437	Hydraulische Permeabilität von Moderat bis hochverdichteten expansiven Tonen	Bauhaus-Universität Weimar	📖 122
02 E 10447	Zerstörungsfreie In-situ-Permeabilitätsmessung	IBeWA Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser- und Deponietechnik Wilsnack & Partner, Freiberg	📖 124
02 E 10457	Untersuchungen und modelltechnische Beschreibung heterogener Strukturen aus Bindemittel und Zuschlag	TU Bergakademie Freiberg	📖 126
02 E 10467	Beschreibung des reaktiven Stofftransports in einem salinaren Endlager mit dem Code TOUGHREACT	Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec), Garching	📖 128
02 E 10477	Restporosität und -permeabilität von kompaktiertem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager, Kurztitel: Repoperm	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 130
02 E 10487	Restporosität und -permeabilität von kompaktiertem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager, Kurztitel: Repoperm	DBE Technology GmbH, Peine	📖 132
02 E 10498	Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz (Vorprojekt) – Kurztitel: VIRTUS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln	📖 134
02 E 10508	Machbarkeitsstudie zur Vorbereitung eines 2-Bohrloch-Erhitzerversuches im URL Mont Terri, Schweiz „MACH-2“	DBE Technology GmbH, Peine	📖 136

1.3 Kernmaterialüberwachung

02 W 6243 Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen **Forschungszentrum Jülich GmbH**  244

1.4 Sicherheitsforschung für Bergbauregionen - Prozessanalyse und Prognosewerkzeuge für Bergschadensgebiete

- | | | | |
|------------------|---|--|-------|
| 02 C 1466 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 1 (BTU): Hydrogeologie und Geochemie des Gesamtsystems | Brandenburgische Technische Universität Cottbus | 📖 212 |
| 02 C 1476 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 2 (BGR): Geophysikalische Untersuchungen, Seismische Erkundung, Geologisches 3D-Modell, Bohrungen, Server-Datenbank, Koordination des Gesamtvorhabens | Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover | 📖 214 |
| 02 C 1486 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 3 (TUC): Geomechanische Modellierung | Technische Universität Clausthal | 📖 216 |
| 02 C 1496 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 4 (K-UTECH): Grundlagen für Geomodellierung | K-UTECH AG Salt Technologies, Sondershausen | 📖 218 |
| 02 C 1506 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 5 (IHU): Erfassung, Bewertung und Darstellung der Strukturgeologie und Hydrochemie | IHU Geologie und Analytik Gesellschaft für Ingenieur-Hydro- und Umweltgeologie mbH, Stendal | 📖 220 |
| 02 C 1516 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 6 (WASY): Strömungs- und Transportmodellierung | DHI-WASY GmbH, Berlin | 📖 222 |
| 02 C 1526 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 7 (JoGU): Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität | Johannes Gutenberg-Universität Mainz | 📖 224 |
| 02 C 1536 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 8 (IIF): Tomographische Radiotraceruntersuchungen und Fluoreszenztraceruntersuchungen | IIF e.V., Leipzig | 📖 226 |

- 02 C 1546** Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 9 (GGA-S1): Deckgebirgseigenschaften über einem bergbaubedingt destabilisiertem Untergrund, abgeleitet aus seismischen Beobachtungen **Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Hannover**  228
- 02 C 1556** Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 10 (GGA-S3): Isotopenhydrologische Untersuchungen **Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Hannover**  230

2 Formalisierte Zwischenberichte

2.1 E-Vorhaben

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 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: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2003 bis 30.06.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 544.748,00 EUR	Projektleiter: Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Das Verhalten des Barrierematerials wird rechnerisch simuliert und mit den gemessenen Werten analysierend verglichen. Die Modellierung erfolgt dabei in drei Phasen. Da die Temperatur neben dem Wasserdruck eine wesentliche treibende Kraft ist, soll zunächst in einer rein thermischen Simulation die dreidimensionale Temperaturentwicklung innerhalb des gesamten Versuchsaufbaus analysiert werden, um eine Parameteridentifikation zu erarbeiten. In einer zweiten Phase soll vor allem das hydraulisch-thermisch gekoppelte Materialverhalten untersucht werden, um die Wechselwirkungen 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

Die durchgeführten Arbeiten konzentrierten sich auf den Temperature-Buffer-Test (TBT) im URL Äspö. Dies 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. Der Versuchsaufbau ist umfangreich mit Sensoren instrumentiert u. a. zur Messung von Temperaturen, Druck und Porenwasserdruck.

Neben der messtechnischen Begleitung wurden im Rahmen des Versuches begleitende numerische Berechnungen durchgeführt, um die ablaufenden physikalischen Prozesse sowohl getrennt, als auch in ihrer gegenseitigen Wechselwirkung zu untersuchen und zu verstehen.

Der Code TOUGH2 (Transport Of Unsaturated Groundwater and Heat) wurde angewendet, um die thermisch-hydraulisch gekoppelte Zweiphasenströmung im Bentonit und damit den Kapillarkraft gesteuerten Aufsättigungsprozess zu berechnen. Es wurden thermisch-hydraulisch gekoppelte Berechnung (TH) an einem vereinfachten axial symmetrischen 2D (Quasi 3D) Modell durchgeführt. Der Kapillarkraft gesteuerte Aufsättigungsprozess wurde mittels des Van Genuchten Gesetzes im Rahmen der Berechnungen simuliert und die Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Temperatur und des Wassergehaltes berücksichtigt. Da eine ganze Reihe von Modellparametern den Aufsättigungsprozess beeinflussen, wurde zunächst eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die wesentlichen Einflussgrößen zu identifizieren. Im Rahmen dieser Analyse wurden ca. zweihundertdreißig Simulationen durchgeführt. Schließlich wurden die empfindlichsten Parameter identifiziert. Diese sind die initiale und aktuelle Sättigung der Flüssigkeitsphase im Bentonit S_L , der Van Genuchten Parameter λ und die intrinsische Permeabilität im Bentonit.

Im Rahmen der dann folgenden „Back Analysis“ wurden für unterschiedliche Sensorlokalisationen in unterschiedlichen Entfernungen von den Erhitzern simulierte und beobachtete Kapillardruckwerte (von 1,53 bis 0,25 MPa) best möglich angepasst. Es liegt damit ein Parametersatz zur Beschreibung des Aufsättigungsprozesses auf Basis der Modellannahmen vor.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fertigstellung und Übergabe des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 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: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse			
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 30.09.2008		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 604.485,00 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 BMWi-Förderkonzeptes „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2002- 2006)“ sowie den internationalen Fortschritt bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das aktualisierte Arbeitsprogramm umfasst folgende Schritte:

- Geschlossene Darstellung der Vorhabensthematik in allgemein verständlicher Sprache in einem Hauptband.
- Ausführlichere Erläuterungen zu wichtigen Themen, die im Hauptband angesprochen werden, aber aufgrund des zusammenfassenden Charakters nicht detaillierter ausgeführt werden können, in einer Reihe von Anhängen.
- Umfangreiche Bibliographien zu den einzelnen Anhängen mit neuerer, für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland relevanter Literatur und wichtigen Ergebnisse aus Forschungsvorhaben (insbesondere vom Bund geförderte Vorhaben).

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum (1. Halbjahr 2008) wurden die Arbeiten zur Weiterführung des Vorhabens im Rahmen einer kostenneutralen Verlängerung bis zum 30.09.2008 in der mit dem Auftraggeber im November 2007 vereinbarten Weise durchgeführt.

Der Entwurf für den Hauptband wurde fristgerecht zum 31.03.2008 vorgelegt. Dieser wurde von 4 externen Experten einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Die Erstellung der fachlichen Anhänge zur vertieften Darstellung von Einzelthemen auf der Grundlage des Handbuch-Entwurfs von 2007 ist in Bearbeitung.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Umsetzung der geplanten Weiterarbeiten umfasst folgende Punkte:

- Fertigstellung des Hauptbands unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Plausibilitätsprüfungen des Hauptbandes
- Fertigstellung der fachlichen Anhänge zum Hauptband
- Fertigstellung der Bibliographie
- Regelmäßige Sitzungen des Redaktionsteams

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Merzhauser Straße 173, 79100 Freiburg		Förderkennzeichen: 02 E 9793
Vorhabensbezeichnung: Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2003 bis 30.09.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 624.916,00 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, ein fachlicher Überblick über das in Deutschland bisher erreichte Wissen in allen dafür relevanten Forschungsgebieten erarbeitet werden. Dabei sollen neben dem in den vergangenen Jahren überwiegend untersuchten Wirtsgestein Salz auch alternative Wirtsgesteine in die Zusammenstellung mit einbezogen werden.

Aufgrund des breit angelegten Ansatzes und seiner übergreifenden Zielsetzung berührt das Vorhaben alle Themenbereiche des BMWi-Förderkonzeptes „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2002-2006 und 2007-2010)“ und den internationalen Fortschritt bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Arbeitspakete wurden entsprechend der bestehenden Zielstellung korrigiert.

- AP1: Geschlossene Darstellung der Vorhabensthematik in allgemein verständlicher Sprache in einem Hauptband.
- AP2: Ausführlichere Erläuterungen zu wichtigen Themen der Endlagerung, die im Hauptband aufgrund des zusammenfassenden Charakters nicht detaillierter ausgeführt werden können, in einer Reihe von Anhängen.
- AP3: Umfangreiche Bibliographien zu den einzelnen Anhängen mit neuerer, für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland relevanter Literatur und Literatur mit wichtigen Ergebnissen aus Forschungsvorhaben (insbesondere vom Bund geförderte Vorhaben).

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im ersten Halbjahr 2008 wurden Fortschritte in allen drei Arbeitspaketen erzielt.

Gemäß dem entwickelten Zeitplan wurde der Hauptband zum 31.03.08 im Entwurf fertig gestellt und den Auftraggebern vorgelegt. Zusätzlich wurde diese Entwurfsfassung vier externen Experten für eine Plausibilitätsprüfung vorgelegt.

Parallel wurden die Arbeiten an den 22 Anhängen und den zugehörigen Bibliographien voran getrieben.

Weiterhin wurden regelmäßige Besprechungen des Redaktionsteams unter Teilnahme des Projektträgers durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Umsetzung der geplanten Weiterarbeiten umfasst folgende Punkte:

- Fertigstellung des Hauptbands unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Plausibilitätsprüfungen des Hauptbandes
- Fertigstellung der fachlichen Anhänge zum Hauptband
- Fertigstellung der Bibliographie

Für das zweite Halbjahr 2008 sind weiterhin regelmäßige Besprechungen des Redaktionsteams zur Abstimmung der Restarbeiten vorgesehen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9854
Vorhabensbezeichnung: Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2004 bis 31.01.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.799.659,00 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. 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 Bohrloch. 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 und die deutsche kerntechnische Industrie 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.

In der Phase 2 werden die Versuchskomponenten bis zur Ausführungsreife geplant, gefertigt und zusammen mit den vorhandenen Komponenten Plateauwagen und Einlagerungslokomotive für den Demonstrationsversuch bereitgestellt. 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.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Grundlagenermittlung: Die Grundlagen und Randbedingungen für die technischen Komponenten des Einlagerungssystems werden im Rahmen 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 die, gemäß den Anforderungen aussichtsreichste hinsichtlich der Realisierung, über ein Bewertungsverfahren ermittelt.

AP3: Entwurfsplanung: Das in der Konzeptplanung entwickelte und ausgewählte Gesamtsystem und dessen Komponenten zur Einlagerung von Brennstabkokillen 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.

AP4: Ausführungsplanung: Das ausgewählte Gesamtsystem wird in Ausführungsplanungstiefe bearbeitet.

AP5: Fertigung der Komponenten: Im Arbeitspaket werden die Komponenten gefertigt und zusammen mit den vorhandenen Komponenten am Versuchsort aufgebaut.

AP6: Versuchsdurchführung: In einem übertägigen Versuchsstand wird der Einlagerungsvorgang mit allen Komponenten unter realitätsnahen Bedingungen demonstriert und die Zuverlässigkeit überprüft.

AP7: Versuchsauswertung: Es erfolgt die Versuchsauswertung und die Erstellung des Abschlussberichtes.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP4: Der Statusbericht „Ausführungsplanung“ wurde fertig gestellt, an die EU versandt und abgenommen.

AP5: Der teilvormontierte Versuchsstand wurde nach der Erteilung der Baugenehmigung auf der Turbinentischebene (+10,0 m) und darunter installiert. Auf der -0,8 m-Ebene ist das 600 mm durchmessende Bohrlochsimulationsrohr verankert. Der von GNS bereitgestellte BSK 3-Dummy wurde dort bereits zur späteren Aufnahme in den Transferbehälter eingesetzt. Beobachtungspositionen für die Einlagerungsversuche sind im Bereich des Kopfes der eingelagerten BSK 3 von der +2,80 m-Ebene und im Bereich des Bohrlochkellers mit der eingebauten Bohrlochschleuse von der +8,0 m-Ebene hergerichtet worden. Alle Hauptbewegungen des Einlagerungssystems wie Einfahren des Plateauwagens, Abheben des Transferbehälters, Aufsetzen auf die Bohrlochschleuse und Einlagern der BSK 3 sind vom Versuchsstandplateau - entsprechend der Einlagerungssohle im Endlager - aus zu beobachten. Die DBE TECHNOLOGY GmbH eigene Batterie-Lokomotive sowie der werksabgenommene Plateauwagen wurden zum Versuchsstand geliefert. Die Bohrlochschleuse wurde im Werk im Zusammenspiel mit einer Behälterschleuse geprüft, abgenommen und danach zum Versuchsstand transportiert. Dort wurde sie auf dem Bohrlochadapterstück im Bohrlochkeller verschraubt. Nach der mechanischen und elektrischen Werksabnahme der Einlagerungsvorrichtung wurde diese in mehrere Transportlasten zerlegt und auf dem Versuchsstand wieder zusammengebaut. Mit den Programmierarbeiten und der Einstellung der Sensoren und Initiatoren für die Versuchsdurchführung wurde begonnen. Ebenso wurde der Steuerstand angeliefert und ausgerüstet. Die Werksabnahme des Transferbehälters wurde beim Assemblierer durchgeführt. Während der Montagearbeiten vor Ort sind alle Auflagen des Bauamtes und des Gewerbeaufsichtsamtes umgesetzt worden. Hierzu zählt der erforderliche 2. Fluchtweg, alle erforderlichen Brandschutzmaßnahmen sowie die Erhöhung und Anpassung aller Einfriedungen an neue gesetzliche Bestimmungen rund um die Bodenöffnungen der 10 m-Ebene.

AP6: Mit dem Einbau der Bohrlochschleuse wurden die ersten endlagerrelevanten Erfahrungsdaten aufgenommen und dokumentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Beendigung der Programmierarbeiten für die Einlagerungsvorrichtung
- Anlieferung des internen Transferbehälters am Versuchsort
- Gesamtabnahme der Komponenten und des Versuchsstandes - August 2008
- Erstellung des Statusberichtes „Fertigung Komponenten und Versuchsstand“ - August 2008
- Beginn des Versuchsprogramms

5. Berichte, Veröffentlichungen

Final Report (Contract Number: FI6W-CT-2004-508851), Deliverable 5.1 of Module 2 (Waste Canister Transfer & Emplacement Technology), Work Package 5, Detailed Design (vertical concept), W. Filbert, M. Heda, J. Wehrmann Operational Safety and Radiation Protection Considerations in Designing an HLW Repository in Germany, W. Filbert, M. Kreienmeyer, M. Pöhler, DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, Germany, Proceedings zur ESDRED International Conference, Prag, Juni 2008 (in Druck)

Emplacement Technology for the Direct Disposal of Spent Fuel into Deep Vertical Boreholes, W. Bollingerfehr, W. Filbert, J. Wehrmann, DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, Germany, Proceedings zur ESDRED International Conference, Prag, Juni 2008 (in Druck)

Abschirmanalysen von Transferbehälter und Bohrlochschleuse zur Endlagerung abgebrannter Brennstäbe in BSK 3, S. Tittelbach, WTI Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH, Jülich, St. Fopp, R. Graf, GNS - Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, W. Filbert, DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, Proceedings Jahrestagung Kerntechnik 2008

Mechanische und thermische Analysen von Transferbehälter und Bohrlochschleuse zur Endlagerung abgebrannter Brennstäbe in BSK 3, S. Fopp, R. Graf, GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, W. Filbert, DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, Proceedings Jahrestagung Kerntechnik 2008

Status der Arbeiten zum Endlagerkonzept Direkte Endlagerung abgebrannter Brennstäbe in Brennstabkokillen (BSK), W. Filbert, J. Wehrmann, W. Bollingerfehr, DBE TECHNOLOGY GmbH, Peine, R. Graf, S. Fopp, GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, Proceedings Jahrestagung Kerntechnik 2008

Demonstration of the Emplacement Technology for the Direct Disposal of Spent Fuel into Deep Vertical Boreholes, W. Filbert, W. Bollingerfehr, J. Wehrmann, DBE TECHNOLOGY GmbH, Proceedings Research Reactor Fuel Management Conference 2008, Hamburg, März 2008 (in Druck)

Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, W. Filbert, M. Heda, J. Wehrmann, DBE TECHNOLOGY GmbH, Tagungsband 9. Projektstatusgespräch PTKA-WTE, Karlsruhe, Mai 2008 (in Druck)

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 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: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2004 bis 31.03.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.574.783,00 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 Gasdurchbruchdrücke 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

AP1: Abschließende Laboruntersuchungen zur Materialauswahl, Bestimmung von Materialparametern, Ermittlung geeigneter Einbautechniken für das Dichtmaterial sowie Auslegungs- und Modellrechnungen.

AP2: 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 Gasdurchbruchdrücke im wassergesättigten Zustand und die Zweiphasenflussparameter in Wechselwirkung mit dem umgebenden Gebirge untersucht. Zum Test der Einbring- und Verdichttechniken werden in einem Technikum in Braunschweig entsprechende Vorversuche durchgeführt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Nach dem Eintreten des Wasserdurchbruchs am 07.09.2007 beim Technikumsversuch 2 (Ton/Sand-Mischung 35/65) stellten sich bis 23.05.2008 nahezu stationäre Fließbedingungen ein. In dem darauffolgenden Zeitraum von 24 Tagen betrug die Fließrate bei der Injektion 9,98 ml/Tag. Die ausgangsseitige Fließrate ist mit 9,68 ml/Tag ca. 3 % niedriger. Die aus diesen Werten gemittelte Wasserpermeabilität bei einer Druckdifferenz von 1,047 MPa errechnet sich zu $1,46 \cdot 10^{-18}$ m². Aufgrund der sehr geringen Differenz der Fließraten ist von einer nahezu vollständigen Sättigung auszugehen, so dass nach Abschluss der Wasserinjektion und nach Abbau des Porendrucks in der Dichtung mit der Bestimmung des Gasdurchbruchsdrucks begonnen werden kann. Insgesamt wurden von der Dichtung 28,6 l Wasser aufgenommen. Der Gesamtdruck (Porenwasserdruck + Quelldruck) im Dichtungsmaterial unterhalb des Packers beträgt z. Zt. ca. 0,27 MPa.

Im Rahmen der In-situ-Untersuchungen wurden die Aufsättigungsversuche an allen 4 Bohrlöchern BSB1 (35/65 Ton-Sand, Dichtungslänge 1 m), BSB2 (35/65 Ton-Sand, Dichtungslänge 1 m), BSB13 (Nagra-Material (gebrochene Tonpellets), Dichtungslänge 0,5 m) und BSB15 (50/50 Ton-Sand, Dichtungslänge 0,5 m) weitergeführt. Grundsätzlich zeigt sich das gleiche Verhalten, wie es bereits im letzten Bericht dargestellt wurde.

Im Berichtszeitraum wurde in die Dichtsysteme zwischen 2,2 l (BSB13) 7,2 l (BSB1), 9,6 l (BSB2) und 15,6 l (BSB15) Wasser injiziert. Somit wurden bei bisher bei BSB1 insgesamt 45,7 l, bei BSB2 85,3 l, bei BSB 13 18,4 l und bei BSB15 58,2 l Wasser aufgenommen. Die Fließraten bei der Injektion lagen bei BSB1 bei 1,1 ml/Tag (Injektionsdruck: 1,085 MPa), bei BSB2 bei 2 ml/Tag (Injektionsdruck: 0,375 MPa), bei BSB13 bei 0,4 ml/Tag (Injektionsdruck: 0,387 MPa) und bei BSB15 bei 3 ml/Tag (Injektionsdruck: 0,383 MPa).

Die unterhalb der Packer gemessenen Gesamtdrücke belaufen sich im Mittel auf 0,165 MPa (BSB2), 2,084 MPa, 2,076 (BSB13) und 0,435 MPa (BSB15). Die Gesamtdrücke zeigen bei den Bohrungen BSB2 einen nahezu konstanten Verlauf und bei BSB15 deutet sich eine geringfügige Abnahme an. Bei der Bohrung BSB13 hingegen, die mit einem reinen Ton (Nagra-Material, gebrochene Tonpellets) verfüllt ist, setzt sich der stetige Anstieg des Gesamtdruckes fort. Beim Versuch BSB1 ist der Ausfall der Druckaufnehmer unterhalb des Packers zu verzeichnen, sodass hier keine weitere Kontrolle des Druckverlaufs (Porenwasserdruck + Quelldruck) mehr möglich ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung des Technikumsversuchs mit Bestimmung des Gaseintrittsdruckes und der verbleibender Gaspermeabilität; Ausbau des Dichtmaterials für Nachuntersuchungen
- Weiterführung der Aufsättigung der In-situ-Versuche und Ermittlung der Wasserpermeabilität
- Nachuntersuchung der erreichten Sättigung in allen Versuchen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Rothfuchs, T, Miehe, R., Zhang, C.-L., 2008: Poster „Selfsealing barriers of Clay/Sand mixtures – The SB experiment at the Mont Terri Rock Laboratory in Switzerland“, Proc. Esdred Int. Conf., Prague, Czech Republic, June 16 – 19, 2008, to be printed

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9934
Vorhabensbezeichnung: Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2004 bis 31.01.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 31.01.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 816.300,00 EUR	Projektleiter: Dr. Fein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Fertigstellung der in den Jahren 1995-2003 unter BMBF- bzw. BMWi-Förderung entwickelten Programmpakete d³f und r³t stehen Werkzeuge zur Verfügung, die es erlauben, Grundwasserbewegungen unter Berücksichtigung der Salinität und Schadstofftransporte unter dem Einfluss von Sorption, Löslichkeitsgrenzen und radioaktivem Zerfall für großräumige, hydrogeologisch komplexe Gebiete über lange Zeiträume zu berechnen.

Ziel dieses Projektes ist die umfassende Erprobung der Programmpakete mit allen enthaltenen Möglichkeiten der Modellierung und unter Ausschöpfung der Hard- und Softwaregrenzen. Damit soll das Vertrauen in die Modellierung von Dichteströmung und Radionuklidtransport erhöht werden.

Modelliert werden Strömungen mit und ohne Salzeinfluss und der Transport von natürlichen und anthropogenen Wasserinhaltsstoffen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Vorhabens sollen folgende Testfälle bearbeitet werden:

AS1: Transport von Chlorid und Kalium im Gebiet der Insel Langeoog

AS2: Transport von Radionukliden im Grundwassermessfeld Krauthausen

AS3: Transport von Uran, Nickel und Eisen im ehemaligen ostthüringischen Uranbergbaugbiet Ronneburg

AS4: Transport von Zink im Bereich Cape Cod, Massachusetts

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Alle Arbeiten zur Durchführung der Testfälle sind abgeschlossen. Der Abschlussbericht „Modelling of Field-Scale Pollutant Transport“ ist fertig gestellt und mit dem Projektträger PTKA-WTE abgestimmt. Zurzeit befindet sich der Abschlussbericht in der Vorbereitung zum Druck.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Vorhaben ist abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Fein, E.; Kröhn, K.-P.; Noseck, U.; Schneider, A.: Modelling of Field-Scale Pollutant Transport. GRS-231.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9944	
Vorhabensbezeichnung: Goelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2004 bis 31.12.2008		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 304.832,00 EUR		Projektleiter: Wieczorek	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des von SKB durchgeführten Projektes "Prototype-Repository" wird die Endlagerung bestrahlter Brennelemente in vertikalen Bohrlöchern im Hartgestein durch elektrische Erhitzer simuliert. Die Versuchsstrecke und die Resthohlräume in den Einlagerungsbohrlöchern im Granit sind mit Ton-Splitt-Lockermaterial bzw. mit hoch kompaktierten Bentonit-Formteilen verfüllt. GRS überwacht in diesem Projekt seit 2001 den räumlichen und zeitlichen Verlauf der Aufsättigung der Bentonitbarrieren mit Hilfe geoelektrischer Widerstandsmessungen. Aus der Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Bereich verschiedener Elektrodenarrays wird die Wassergehaltsverteilung an Hand bereits durchgeführter Labormessungen ermittelt. Zur Absicherung der Ergebnisse und zur Erprobung neuer Auswerteverfahren soll ein Aufsättigungsversuch mit geoelektrischer Überwachung im Labormaßstab durchgeführt werden. Die experimentellen Messergebnisse stellen eine wichtige Datenbasis zur Überprüfung der numerischen Simulation des Aufsättigungsverhaltens von Tonbarrieren in Langzeitsicherheitsanalysen dar. Der Erfolg des Vorhabens wird durch die Qualität der bisher erzielten Ergebnisse abgesichert.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: In-situ-Ermittlung der räumlichen und zeitlichen Wasserverteilung in Gebirge, Bohrloch-Buffer und Streckenversatz
- AP2: Laborversuche zur Überprüfung der Korrelation inhomogener Wasserverteilungen in tonhaltigem Versatz mit gemessenen Resistivitätsverteilung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Die Messungen im Streckenversatz in Sektion I und II wurden weitergeführt. In Sektion I ist die Resistivitätsverteilung inzwischen sehr homogen und hat sich, ebenso wie bereits im 2. Halbjahr 2007, nicht weiter erniedrigt. Bei Werten unter $2 \Omega\text{m}$ (entspricht einem Wassergehalt von über 25 %) ist Vollsättigung erreicht. In Sektion II setzte sich der bisherige Trend (Resistivitätserniedrigung und Vergleichmäßigung durch Wasseraufnahme aus dem Gebirge) weiterhin fort. Die Bereiche leicht erhöhter Resistivität verkleinern sich stetig. Im Zentrum von Sektion II ist die Resistivität noch etwas höher (unter $5 \Omega\text{m}$), entspricht aber mindestens 18 % Wassergehalt.

Bei den Messungen im Buffer ist wegen des Ausfalls mehrerer Elektroden Ende 2005 eine tomografische Auswertung der Messungen nicht mehr möglich. Die Gründe für den Elektrodenausfall sind unbekannt, möglicherweise handelt es sich um Korrosionseffekte. Eine Klärung wird erst im Rahmen von Nachuntersuchungen möglich.

Die Resistivitätsverteilungen entlang der Messketten im Gebirge ähneln einander sehr und änderten sich bis Mitte 2006 kaum. Die Gebirgsresistivität zeigt charakteristische Werte zwischen 2000 und $7000 \Omega\text{m}$ (gesättigtes Gebirge). Allerdings deutet sich seit Mitte 2006 eine Widerstandserhöhung entlang der Messkette nahe dem Lagerbohrloch 5 an. Hier ist die Resistivität entlang der Messkette inzwischen weitgehend auf Werte oberhalb $1200 \Omega\text{m}$ gestiegen, was sich möglicherweise durch eine Austrocknung des Betons zur Ankopplung der Elektroden und des umgebenden Gebirges erklären lässt.

Inzwischen hat SKB entschieden, das Prototype Repository weiter zu betreiben und eine Aufwältigung der Sektion II erst in 2010 vorzunehmen. Um nach der Aufwältigung Proben des Buffer- und Versatzmaterials untersuchen zu können und die Gründe des Elektrodenausfalls festzustellen, wurde ein Verlängerungsantrag gestellt.

AP2: Zur Simulation der Versatzaufsättigung mit begleitender Geoelektrik wurde ein weiterer Versuch mit verdichtetem Versatz in einem mit Elektroden bestückten Plexiglasrohr erfolgreich durchgeführt. Im Gegensatz zum ersten Versuch wurde der Versatz mit einem für den In-situ-Versuch repräsentativem Wassergehalt eingebaut. Der Versatz wurde von unten her mit Äspö-Wasser teilweise geflutet und die Resistivitätsverteilung vor und nach der Flutung gemessen. Außerdem wurde der Wassergehalt an vor und nach der Flutung genommenen Proben bestimmt. Dieses Experiment wird zurzeit ausgewertet.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Weiterführung der In-situ-Messungen

AP2: Auswertung des Aufsättigungsversuch mit Äspö-Versatzmaterial

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9954
Vorhabensbezeichnung: Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2004 bis 31.07.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.478.242,00 EUR	Projektleiter: Dr. Noseck	

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 und die Verwendung in einem Safety Case 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.
- Weiterentwicklung methodischer Vorgehensweisen in der Langzeitsicherheitsanalyse, wie zur Erstellung eines vollständigen Safety Case oder zur Verwendung geeigneter Sicherheits- und Performanceindikatoren.
- Auswertung neuer wissenschaftlicher Ergebnisse und Aufbereitung zur Verwendung in Instrumentarien für Langzeitsicherheitsanalysen.

TA 2: Bearbeitung von Schwerpunktthemen

- Untersuchung der Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf Prozesse in der Geosphäre und Biosphäre und Abschätzungen des Einflusses auf die Langzeitsicherheit potentieller deutscher Endlager.
- Untersuchung chemischer Effekte im Endlagernahbereich: Einbau neuer Modellansätze und Daten zu Quellterm und Löslichkeiten in das Nahfeldmodul und Überprüfung der Auswirkung bestehender Unsicherheiten auf Ergebnisse der Langzeitsicherheitsanalysen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

TA 1:

- Teilnahme am jährlichen RWMC-Meeting und am AMIGO-Workshop der IGSC.
- Teilnahme an der Sitzung des Arbeitskreises Szenarienentwicklung.
- Teilnahme an der Sitzung des NEA Forums of Stakeholder Confidence (FSC) mit einem eingeladenen Vortrag zum Thema „Use of analogues to build technologists' confidence.“

- Der NEA Bericht „Timing of high-level waste geological disposal“ ist veröffentlicht.
- Auswertung der Ergebnisse der deterministischen Modellrechnungen zu Sicherheits- und Performanceindikatoren für Endlager in Salz- und Tonformationen. Der Bericht “Safety and Performance indicators for repositories in clay and salt formations” (GRS-239) wurde fertig gestellt.
- Fertigstellung des Berichtsteils zur Behandlung der Auflockerungszone im Rahmen eines Langzeitsicherheitsnachweises für ein Endlager im Tonstein.
- Fertigstellung des Berichtsteils zur Behandlung des Gastransports im Rahmen eines Langzeitsicherheitsnachweises für ein Endlager im Tonstein.
- Der Bericht „Elemente eines Safety Case zur Implementierung eines Endlagers im Salinar“ (GRS-238) wurde fertig gestellt.
- Der Bericht „Gase im Endlager im Salz“ (GRS-242) zum Workshop wurde fertig gestellt.

TA 2:

- Teilnahme am Treffen der Task Force EBS in Äspö. Anpassung des Codes VIPER für 1D-radialsymmetrische Probleme. Modellierung des Testfalls Task 2.2 der Task Force EBS.
- Abschluss der Rechnungen zur Auswirkung der Unsicherheiten chemischer Effekte und zur Auswirkung neuer Quellterme in einer integrierten Langzeitsicherheitsanalyse für ein Endlager im Steinsalz. Der Bericht „Chemical effects in the near field of a HLW repository in rock salt” (GRS-240) ist fast fertig gestellt.
- Abschluss der Rechnungen zur Auswirkung klimatischer Veränderungen auf Strömung und Transport im Deckgebirge. Der Bericht “Impact of climate change on far-field and biosphere processes for HLW repositories in rock salt” (GRS-241) wurde fertig gestellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fertigstellung des Berichts „Chemical effects in the near field of a HLW repository in rock salt” (GRS-240).
- Fertigstellung des zusammenfassenden Abschlussberichts „Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern“ (GRS-237).
- Das Vorhaben endet am 31.07.2008

5. Berichte, Veröffentlichungen

Noseck, U.; Müller-Lyda, I.; Steininger, W.: Overview on natural analogue studies in Germany. atw 53, 342-348, 2008.

Kröhn, K.-P.: Simulating non-isothermal water uptake of compacted bentonite without coupling of hydraulics to mechanics. Proceedings of the Workshop on “Long-term performance of smectitic clays embedding canisters with highly radioactive waste” held in Lund, 2007, Applied Clay Science (in press), 2008.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 9965	
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche			
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2005 bis 31.05.2008		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 31.05.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 460.416,00 EUR		Projektleiter: Dr. Krone	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel besteht darin, für ein HAW-Endlager im Granit ein klareres Verständnis über die Rolle der einzelnen Komponenten des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf den Nachweis der Endlagersicherheit, respektive der Standortbewertung, und damit über die an sie zu stellenden Anforderungen hinsichtlich des Isolationspotenzials zu erlangen. Mögliche Einschränkungen des Isolationspotenzials der geologischen Barriere werden maßgeblich durch die vorhandenen Kluftsysteme bestimmt, deren Charakterisierung folglich einen wesentlichen Teil der Standorterkundung ausmacht. Es soll geklärt werden, was die zusätzlichen technischen Barrieren leisten müssen, damit der Nachweis der Einhaltung der Schutzziele geführt werden kann, ohne die Standorteignung in Frage zu stellen.

Auf der Grundlage der durchgeführten Sicherheitsbetrachtungen soll analysiert werden, in welchem Maße die einzelnen Komponenten des Mehrbarriersystems zum Nachweis bzw. zur Gewährleistung der Endlagersicherheit beitragen und wo für jede einzelne Barriere die praktischen Grenzen für das Isolationspotenzial liegen. Im Ergebnis dieser Auswertung sollen Schlussfolgerungen hinsichtlich der zweckmäßigerweise an die einzelnen Barrieren zu stellenden Anforderungen mit Blick auf die Standortauswahl abgeleitet werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Charakterisierung, Auslegung und Sicherheitsbewertung der (geo-)technischen Barrieren

1. Projektmanagement
2. Untersuchungen zur Behälterkorrosion und der daraus resultierenden Gasbildung
3. Untersuchungen zu thermisch und Erdbeben-induzierten Scherverformungen
4. In-situ-Versuch zur Abdichtwirkung des Bentonits im geklüfteten Gestein
5. Berichtswesen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es war ein vorrangiges Ziel dieses Forschungsvorhabens, ein klareres Verständnis über die Rolle der einzelnen Komponenten des geologischen, geotechnischen und technischen Barriersystems im Hinblick auf den Nachweis der Endlagersicherheit, respektive der Standorteignung, und damit über die an sie zu stellenden Anforderungen hinsichtlich des Isolationspotenzials zu erlangen. Es wurde daher ein Sicherheitsnachweiskonzeptes für das vorliegende Einlagerungskonzept entwickelt und dargestellt. Dieses Sicherheitskonzept basiert auf der Ausweisung dezidiert Schutzfunktionen der einzelnen Komponenten der technischen, geotechnischen und geologischen Barriere. Dieses Konzept zeigt auf, wie mittels Ausweisung von Schutzfunktionen für jeden Teil des Barriersystems sowie der dafür maßgeblichen Eigenschaften, Parameter, Unsicherheiten etc. die Rolle der einzelnen Schutzfunktionen und die Nachweisbarkeit der Erfüllung dieser Funktionen bei der modellgestützten Beweisführung der Langzeitsicherheit bewertet werden können.

Anhand der für die Gesteinstypen Basalt und Gneis bzw. Granitoid vorhandenen Daten wurde für ein, auf der Grundlage der z. Zt. verfügbaren Standorterkundungsergebnisse ausgewähltes Modellgebiet im SW-Teil des Jenisejskij-Gebietes analysiert, in welchem Maße die einzelnen Barrieren und ihre Schutzfunktionen zur Gewährleistung der Endlagersicherheit beitragen. Aufgrund der z. T. großen Datendefizite kann diesen Berechnungen lediglich ein orientierender Charakter zugesprochen werden. Die Arbeiten, die auch typische Einwirkungen auf technischen Barrieren berücksichtigen, zeigen jedoch eine Methodik auf, in welcher Weise eine Sicherheitsbetrachtung durchgeführt werden kann.

Mittels Monte-Carlo-Modellierungen wurde darüber hinaus durch die stochastische Variation der Parameter, die die Wirksamkeit bzw. Sicherheitsfunktionen der verschiedenen Barrieren beschreiben, sowie anschließende Sensitivitätsanalysen deren Einfluss auf die Sicherheit des gesamten Endlagersystems untersucht. Dabei zeigte sich, dass bei einem eingeschränkten Isolationspotenzial der in der Regel geklüfteten geologischen Barriere die Lebensdauer der Abfallbehälter und die Wirksamkeit der Bentoniteinbettung an Bedeutung gewinnen. Sofern Abstriche an der Wirksamkeit dieser technischen Barrieren gemacht werden, steigen die Anforderungen an die geologische Barriere und damit an die Standortauswahl und -charakterisierung erheblich. Im Zuge der Konzeptoptimierung ist es daher erforderlich, auf der Grundlage belastbarer Standortdaten an die technischen und geotechnischen Barrieren angemessene Anforderungen unter Berücksichtigung ihrer Realisierbarkeit zu stellen, um verbleibende Unsicherheiten zu begrenzen.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten wurden von den Projektpartnern BGR, GRS und DBE TECHNOLOGY im Rahmen einer Abschlusspräsentation auf einem Workshop mit russischen Experten in Moskau vorgestellt und diskutiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9975	
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barrierensystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche			
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2005 bis 31.05.2008		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 31.05.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 417.264,00 EUR		Projektleiter: Dr. Fein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zielstellung des Vorhabens besteht in der Erlangung eines klareren Verständnisses über die Rolle der einzelnen Komponenten des geologischen und geotechnischen Barrierensystems für ein HAW-Endlager im Hartgestein. Dies soll im Hinblick auf den Nachweis der Endlager-sicherheit und damit auf die Anforderungen hinsichtlich des Isolationspotenzials geschehen.

Bei der Endlagerung im Hartgestein kann nicht von einem vollständigen Einschluss der Abfälle durch das Wirtsgestein ausgegangen werden. Mögliche Einschränkungen des Isolationspotenzials werden maßgeblich durch die vorhandenen Kluftsysteme bestimmt, deren Charakterisierung folglich einen wesentlichen Teil der Standorterkundung ausmacht. Durch die eingeschränkte Kenntnis über die vorliegenden Kluftsysteme stellt sich die Frage, was die zusätzlichen technischen Barrieren leisten müssen, damit der Nachweis der Einhaltung der Schutzziele geführt werden kann. Ferner ist zu klären, mit welchem Detaillierungsgrad und mit welchen Verfahren die Charakterisierung der geologischen Verhältnisse im Hartgestein zweckmäßigerweise betrieben werden sollte. Zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen beiden Aspekten ist die Durchführung integrierter Sicherheitsanalysen vorgesehen, die das gesamte Barrierensystem erfassen und die Auswirkungen von Parameteränderungen bewerten. Obwohl die Arbeiten weitgehend an Hand von Standortdaten, die von russischer Seite bereitgestellt werden, durchgeführt werden, sollen keine Aussagen zur Standorteignung abgeleitet werden.

Dieses Vorhaben wird gemeinsam mit der DBE Technology und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführt. Im Folgenden wird nur das von der GRS untersuchte Arbeitspaket beschrieben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP3: Bewertung der Wirksamkeit des gesamten Barrierensystems
 Erweiterung von Computerprogrammen
 Hydrogeologisches Modell für den Standort Jennisseiskij
 Deutsch-russische Benchmarks

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Untersuchungen an drei russischen Bohrkernen wurden abgeschlossen. Die Ergebnisse wurden in dem Prüfbericht „Untersuchungen der GRS an Jenissejskij-Bohrkernen (Ultraschallmessungen zur Ermittlung der dynamischen Elastizitätsparameter an allen Proben, Korndichte- und Porositätsbestimmungen sowie Bestimmung der Permeabilitäten an ausgewählten Proben)“ dokumentiert und flossen in den Projektabschlussbericht ein.

Die Anpassungen des Programms CHETMAD zur Durchführung von probabilistischen Rechnungen waren umfangreicher als erwartet und nahmen viel Zeit in Anspruch. Die anschließenden Rechnungen wurden exemplarisch an den Gesteinen Basalt und Gneis durchgeführt. Die Modelldaten stammen aufgrund der überaus lückenhaften Informationen innerhalb des Untersuchungsgebietes Jenissejskij aus den Datenbeständen des Gebietes Itatskij sowie aus dem Projekt SPA und von der NAGRA.

Es wurden sowohl Unsicherheits- als auch Sensitivitätsuntersuchungen durchgeführt. Die zeitlichen Verläufe der Strahlenexposition in den beiden Gesteinen waren signifikant verschieden. Die Unsicherheitsanalyse zeigte eindrucksvoll die unterschiedlichen Transportgeschwindigkeiten sowie die Beiträge der verschiedenen Radionuklide zu der gesamten Strahlenexposition auf. Die Sensitivitätsanalyse gab dagegen Aufschluss über den Einfluss der variierten Modellparameter auf die Unsicherheit der errechneten Summendosis. Es zeigte sich, dass für beide Gesteine der Volumenstrom sowie die Klufthäufigkeit die wesentlichen Parameter darstellen. Bei den zehn Simulationen mit den höchsten Strahlenexpositionen konnte für beide Gesteine festgestellt werden, dass für alle Eingabeparameter mit Ausnahme von Matrixdiffusion, Eindringtiefe und Verteilungskoeffizienten für die Gesteine ähnliche Werte per Stichprobenziehung gewählt wurden. Da sich die Werte dieser drei Parameter signifikant für die beiden Gesteine unterscheiden, folgt daraus, dass diese Parameter für die unterschiedlichen zeitlichen Verläufe der Strahlenexpositionen verantwortlich sind.

Am 12. Mai 2008 fand zur Diskussion des Vorentwurfs des gemeinsamen Abschlussberichts ein Treffen zwischen DBETec, BGR und GRS in Peine statt. Dabei wurden zusätzliche deterministische Modellrechnungen angeregt, um die Ergebnisse der bisherigen probabilistischen Rechnungen im Hinblick auf die Relevanz der Matrixdiffusion, Eindringtiefe und des Verteilungskoeffizienten zu verdeutlichen. Die durchgeführten Rechnungen bestätigen die oben gemachte Aussage.

Am 27. Mai 2008 fand in Moskau das WIBASTA-Abschlussseminar statt. Von Seiten der GRS trugen vor:

- Fein, E.: Conceptual Models for Flow and Transport in Hard Rock Formations
- Wolf, J.; Fahrenholz, C.: Flow and Transport Modelling within a Hard Rock Formation - Sensitivity Analyses with Regard to Various Barriers

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Vorhaben ist abgeschlossen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Hammer, J.; Mrugall, S.; Brewitz, W.; Fahrenholz, C.; Fein, E.; Wolf, J.; Jobmann, M.; Keesmann, S.; Krone, J.; Ziegenhagen, J.: Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barrierensystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen. Abschlussbericht.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 9985
Vorhabensbezeichnung: Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2005 bis 31.10.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 282.060,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Bernhard	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel dieses Vorhabens ist es, die Komplexierung von Uran, Curium und Neptunium mit von Pseudomonaden (z. B. *P. fluorescens* isoliert im Äspö HRL) freigesetzten natürlichen Bioliganden und mit relevanten Modellverbindungen aufzuklären. Es werden Aussagen zu Struktur und Bildung der Actinid-Bioligand Verbindungen erwartet. Die erhaltenen Daten dienen der Bewertung des Einflusses von Bioliganden, freigesetzt von Bodenbakterien, auf die Mobilität von Actiniden insbesondere aus radioaktiven Endlagern in Gesteinsformationen.

Teilziel 1 des Projektes ist die Isolierung und Charakterisierung der Bioliganden (an der Universität Göteborg, Arbeitsgruppe von Prof. K. Pedersen). Dies beinhaltet eine Trennung der Bioliganden in einzelne Fraktionen und im günstigsten Falle eine Substanzidentifizierung in den Fraktionen. Teilziel 2 ist die Aufklärung der Wechselwirkungen der Modellverbindungen mit Uran, Neptunium und Curium. Teilziel 3 umfasst die Charakterisierung der gebildeten Uran-, Neptunium- und Curium-Spezies mit den natürlichen Bioliganden bzw. Bioligandfraktionen.

Die Untersuchung der Komplexierung mit den Bioliganden und Modellverbindungen erfolgt mit Hilfe modernster spektroskopischer Methoden (Laserspektroskopische Verfahren, UV/Vis-, Infrarot- und Röntgenabsorptionsspektroskopie).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in die Arbeitsaufgaben:

- AP1: Isolierung, Fraktionierung und Charakterisierung der natürlichen Bioliganden die von Pseudomonaden (im Äspö HRL isoliert) gebildet wurden
- AP2-AP4: Wechselwirkung der ausgewählten Modellverbindungen (Salicylhydroxamsäure, Desferrioxamin B, 6-Hydroxychinolin, Peptidoglykan und Lipopolysaccharid u. a.) mit den Actiniden Uran(VI), Curium(III) und Neptunium(V)
- AP5-AP7: Studium der Wechselwirkung der natürlichen Bioliganden mit U(VI), Cm(III) und Np(V)
Bestimmung der Actinidenspeziation in der Lösung (rechnerisch, spektroskopisch) vor und nach der Wechselwirkung mit den Bioliganden bzw. Modellsystemen
Abhängigkeit der Speziation vom pH-Wert und der Ligandkonzentration

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Fortsetzung der ATR-FTIR Untersuchungen zur Charakterisierung der Anbindung des U(VI) an Pyoverdine und Modellverbindungen
- Auswertungen zur spektroskopischen Charakterisierung der Cm(III)-Wechselwirkungen mit Peptidoglykan (PGN)

- 3. Messkampagne XAS-Strukturuntersuchungen: U(VI)-LPS und U(VI)-PGN an ROBL in Grenoble
- spektroskopischen Untersuchungen zur Cm(III) Komplexierung mit DFB und LPS (geänderte Anregungswellenlänge)
- absorptionsspektroskopische Untersuchungen zur Np(V) Komplexierung mit DFB und LPS
- Erarbeitung Vortrag: Uranium(VI) complexation with pyoverdins and related model compounds studied by EXAFS für Actinide XAS 2008 Konferenz im Juli in Frankreich
- Vorstellung der Ergebnisse des Vorhabens als Vortrag auf dem 8. Projektstatusgespräch des Projektträgers für Wassertechnologie und Entsorgung in Karlsruhe, 06.-07.05.2008
- Ergebnisse, Teilziel 2&3 (AP2-AP7):
- U(VI) + PGN: Manuskript: Complexation of uranium(VI) with peptidoglycan von A. Barkleit et al. in Bearbeitung
- Cm(III) + LPS: Manuskript: Interactions of curium(III) with lipopolysaccharide von H. Moll et al. bei Radiochim. Acta eingereicht, erneute Untersuchungen nach Gutachterbericht
- Cm(III) + DFB: Manuskript Curium(III) complexation with desferrioxamine B (DFO) investigated using fluorescence spectroscopy von H. Moll et al. bei Bulletin of the Chemical Society of Japan akzeptiert
- Np(V) + SHA, NAP, DFB: zwei Np(V)-SHA-Spezies mit UV-vis charakterisiert, Stabilitätskonstanten: $\log\beta_{111} = 13.6$ (989 nm) und $\log\beta_{110} = 6.09$ (993 nm), Hinweise auf Wechselwirkung der phenolischen OH-Gruppe; ein Np(V)-NAP-Spezies mit UV-vis bestimmt, Stabilitätskonstante: $\log\beta_{110} = 8.16$ (996 nm); zwei Np(V)-DFB-Spezies mit UV-vis charakterisiert, Stabilitätskonstanten: $\log\beta_{112} = 27.2$ (990 nm) und $\log\beta_{110} = 11.4$ (1000 nm); damit können diese Komplexe in komplexe Modellierungen einbezogen werden
- XAS Messungen Run 2: Zusammenfassung der Messungen der Bioligand-Testlösungen mit U(VI): Bildung der Komplexe zeigt sich in Verkürzung des U-O_{aq} Abstandes, starke Neigung des U(VI) zur Wechselwirkung mit phenolischen OH Gruppen des PYO-Chromophors
- ATR-FTIR Messungen im System U(VI)-NAP: Schwingung der phenolischen OH-Gruppen in Uranylhaltiger Probe verschoben, das O=U=O 929.6 cm⁻¹ bidentate Anbindung.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Komplexierungsuntersuchungen mit Modellen unter Verwendung unterschiedlicher spektroskopischer Techniken: a) Cm(III) mit LPS; b) Np(V) mit BHA, PYO und PGN
- Auswertungen der XAS Messungen von Run 3
- Teilnahme an der Konferenz Actinide XAS 2008 Saint-Aubin, France, 15.-17.07.2008 (Vortrag)
- Erstellung der Beiträge zur internationalen Radiochemiekonferenz NRC-7 in Budapest, Ungarn (24.-28.8.2008), 1 Vortrag und 1 Poster
- Beginn der Arbeiten am Projektabschlussbericht

5. Berichte, Veröffentlichungen

Moll, H.; Glorius, M.; Bernhard, G.; Johnsson, A.; Pedersen, K.; Schäfer, M.; Budzikiewicz, H.: *Characterization of Pyoverdins Secreted by a Subsurface Strain of Pseudomonas fluorescens and Their Interactions with Uranium(VI)*. Geomicrobiology Journal 25(2008), 157-166.

Moll, H.; Johnsson, A.; Schäfer, M.; Pedersen, K.; Budzikiewicz, H.; Bernhard, G.: *Curium(III) complexation with pyoverdins secreted by a groundwater strain of Pseudomonas fluorescens*. BioMetals 21(2008), 219-228.

Barkleit, A.; Moll, H.; Bernhard, G.: *Interaction of uranium(VI) with lipopolysaccharide*. Dalton Transactions (2008), 2879-2886.

Glorius, M.; Moll, H.; Bernhard, G.: *Complexation of Curium(III) with Hydroxamic Acids Investigated by Time-Resolved Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy*. Polyhedron 27(2008)9-10, 2113-2118.

Wiebke, J.; Moritz, A.; Glorius, M.; Moll, H.; Bernhard, G.; Dolg, M.: *Complexation of uranium(VI) with aromatic acids in aqueous solution – A combined computational and experimental study*. Inorganic Chemistry 47(2008)8, 3150-3157.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 9995	
Vorhabensbezeichnung: Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche			
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2005 bis 31.05.2009		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 169.825,00 EUR		Projektleiter: Dr. Noseck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Vorhabens soll das Verständnis zum geochemischen Verhalten von Schadstoffen in natürlichen Systemen und zum Einfluss von organischer Materie auf diese Prozesse erhöht werden. Schwerpunktmäßig soll das Verhalten organischer Materie und das geochemische Verhalten von Uran und anderen Spurenelementen unter Bedingungen, wie sie im Fernfeld von Endlagern in Salzformationen auftreten, charakterisiert und beschrieben werden.

Das Vorhaben baut auf den Ergebnissen des Projekts „Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen“ (FKZ 02E9551) auf und stellt den nationalen Beitrag zur Komponente RTDC-5 des integrierten EC-Projekts FUNMIG dar. Partner in dieser Komponente sind INE (Institut für Nukleare Entsorgung), NRI (Nuclear Research Institute), Czech Republic und University Helsinki, Finland.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im ersten Arbeitsschritt sollen vom INE Kolloidmessungen am Standort Ruprechtov durchgeführt werden. Der Beitrag der GRS umfasst die Durchführung zeitgleicher Messungen des Eh- und pH-Werts mit einer In-situ-Sonde und Messungen der Grundwasserzusammensetzung in den entsprechenden Grundwassermessstellen am Standort Ruprechtov.

Im zweiten Arbeitsschritt soll mit modernen analytischen Methoden wie μ -XRF (INE) und U(IV)/U(VI)-Trennung (University Helsinki) der geochemische Zustand von Uran in natürlichen Sedimentproben vom Standort Ruprechtov mit einem hohen Urangehalt analysiert und charakterisiert werden. Der Beitrag der GRS besteht in der Identifikation und Verteilung geeigneter Proben und in der chemisch-mineralogischen Charakterisierung dieser Proben.

Der dritte Arbeitsschritt hat die Integration der Ergebnisse aus den beiden anderen Arbeitsschritten zusammen mit den bereits vorliegenden Daten zum Standort Ruprechtov zum Inhalt. Es soll eine möglichst genaue Beschreibung der Prozesse zum Verhalten von organischer Materie im Hinblick auf die Bildung von Huminkolloiden und auf das geochemische Verhalten

von Uran und anderen Spurenelementen in einem natürlichen System, das dem eines Deckgebirges über einem Salzstock ähnlich ist, erreicht werden. Als Task Leader des RTDCs ist GRS für die Koordination aller Arbeiten verantwortlich.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AS1: Das Arbeitspaket ist abgeschlossen.

AS2: Durchführung eines systematischen Vergleichs von sequentieller Extraktion und U(IV)/U(VI)-Trennung an homogenisierten Proben. Die Ergebnisse zeigen u. a., dass bei der Probenhomogenisierung ein Teil des Urans oxidiert wurde.

Zusammenfassung und Dokumentation aller Ergebnisse aus Sorptionsuntersuchungen an Ruprechtov-Proben.

Erprobung und Anwendung der U(IV)/U(VI)-Trennung im Grundwasser der Bohrungen NA6 und NA4. Etwa 20 % des gelösten Urans in NA6 wurde als U(IV) nachgewiesen, die Ergebnisse für NA4 stehen noch aus. Die Existenz von U(IV) im Grundwasser wird durch die Modellrechnungen gestützt.

AS3: Weiterführung der Arbeiten zur Umsetzung sedimentären organischen Kohlenstoffs (SOC). Die neuen Untersuchungen zur Rückhaltung von Huminstoffen an Tonoberflächen bestätigen, dass die Sorption an den Sedimentproben vom Standort Ruprechtov deutlich größer ist als an Montmorillonit-Proben.

Weiterführung der Untersuchung zur Komplexierung von Uran mit aus Ruprechtov-Proben extrahierten Huminstoffen. Für die Reaktion von UO_2^{2+} mit Huminsäuren aus dem Bohrkern NA12 wurden Komplexbildungskonstanten ermittelt, die niedriger liegen als an Gorleben-Huminsäuren bestimmte Werte aus der Literatur.

Abschluss der geochemischen Modellrechnungen. Die Ergebnisse aus Experimenten und Modellrechnungen geben mittlerweile ein konsistentes Bild. Im Ton/Lignit-Horizont sind die Redoxbedingungen anscheinend hauptsächlich durch das Sulfat-/Sulfidsystem und die Urankonzentrationen durch amorphes UO_2 und Ningyoit bestimmt.

Durchführung eines RTDC5-Treffens in Ostrov zur Integration aller Ergebnisse und Planung und Vorbereitung der Abschlussdokumentation.

4. Geplante Weiterarbeiten

Dokumentation der Ergebnisse im Abschlussbericht für die EU und in wissenschaftlichen Beiträgen zum 4th Annual FUNMIG Workshop.

Übergreifende Dokumentation mit Beiträgen aus anderen RTDCs zum Thema „Real system analyses and natural analogues“ für eine Sonderausgabe der Zeitschrift Applied Geochemistry.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Noseck, U.; Brasser, Th.; Suksi, J.; Havlova, V.; Hercik, M.; Denecke, M.A.; Förster, H.J.: Identification of uranium enrichment scenarios by multi-method characterization of immobile U phases. *J. Phys. Chem. Earth* (2008), doi:10.1016/j.pce.2008.05.018, in press.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt		Förderkennzeichen: 02 E 10015
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2005 bis 30.04.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 500.312,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Hampe	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Untersuchung und Quantifizierung der transportrelevanten Parameter in einem geologischen Endlager in Tongestein zur Beurteilung der Vorgänge in der Auflockerungszone nach deren Wiederaufsättigung und Gasbildung in den Einlagerungsräumen. Zu untersuchen ist, unter welchen Bedingungen Korrosions- und Degradationsgase das in den Rissen und Poren vorhandene Formationswasser verdrängen können, und ob sich dadurch wieder Wegsamkeiten bilden können.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Erstellung der detaillierten Versuchsmatrix und Festschreibung der Variationsbandbreiten der Untersuchungsparameter.
- Modifikation vorhandener Versuchseinrichtungen. Die aus vorlaufenden Projekten vorhandenen Versuchseinrichtungen müssen der geänderten Probengeometrie und den Versuchsbedingungen angepasst werden.
- Untersuchung der Riss- und Porengeometrie mittels unterschiedlicher Verfahren. Neben etablierten Verfahren sollen innovative Methoden zur Untersuchung der Porosität und der Porengeometrie eingesetzt werden.
- Durchführung der zentralen Experimente zum Durchlässigkeitsverhalten und Gastransport. In Abhängigkeit von Überlagerungsdruck, Gas- bzw. Flüssigkeitseintrittsdruck und Temperatur werden Änderung von Permeabilität, Fluiddurchbruch sowie Verdrängung von Flüssigkeit durch Gas untersucht.
- Auswertung, Bewertung und Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Fortführung der stationären und instationären Permeabilitätsmessungen bei Raumtemperatur. Die Permeabilität der vor dem Versuch auf Gewichtskonstanz getrockneten Proben ist drei bis vier Größenordnungen höher als die der „bergfeuchten“. Die mit Gas ermittelten Permeabilitäten liegen um zwei bis drei Größenordnungen über den mit Formationswasser gemessenen.
- Inbetriebnahme der Messkammer zur Durchführung von Durchlässigkeitsuntersuchungen bei Temperaturen bis 90 °C. Erste Messungen bei 60 °C wurden durchgeführt. Bisher ist im Permeabilitätsverhalten kein signifikanter Unterschied zu den bei Raumtemperatur vermessenen „bergfeuchten“ Proben erkennbar.
- Fortführung der Untersuchungen zur Bestimmung der zugänglichen Porosität über instationäre Permeabilitätsmessungen und Vergleich mit den Simulationsrechnungen. Anpassungen im experimentellen Aufbau führen zu einer besseren Übereinstimmung von theoretischer Vorhersage und Experiment.
- Bestimmung der zugänglichen Porosität nach der Gasexpansionsmethode. Es zeigte sich, dass diese nur unwesentlich geringer als die totale Porosität ist, was bedeutet, dass im Ton nur sehr wenige von außen nicht zugängliche Hohlräume existieren.
- Diffusionsmessungen zur Bestimmung effektiver Diffusionskoeffizienten in Abhängigkeit vom Gasdruck. Bis zum Erreichen des stationären Zustands sind teilweise Messzeiten von mehreren Wochen notwendig.
- Weiterführung der Untersuchungen zum Gasdurchbruch nach Probenaufsättigung und Wiederbeaufschlagung mit Gas. Aus dem gemessenen Gaseintrittsdruck, bei dem nach Aufsättigung der Tonproben wieder ein Volumenstrom detektierbar war, wurde der äquivalente Porenradius abgeschätzt. Hieraus konnte abgeleitet werden, dass die Verdrängung des Formationswassers primär im Bereich der Makroporen stattfindet. Bei Proben, die ohne simulierten Überlagerungsdruck im Wasserbad mit Formationswasser gesättigt wurden, war ein deutlich höherer Probeneingangsdruck notwendig, um einen Gasdurchbruch zu erreichen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der laufenden Untersuchungen zur Bestimmung der stationären Permeabilität.
- Fortführung der Untersuchungen zur Bestimmung der zugänglichen Porosität über instationäre Permeabilitätsmessungen und Gasexpansionsmessungen.
- Weiterführung der Untersuchungen zum Gasdurchbruch nach Probenaufsättigung und Wiederbeaufschlagung mit Gas.
- Durchlässigkeitsuntersuchungen bei Temperaturen von 60 °C und 90 °C. Untersuchung des Einflusses einer hohen relativen Feuchte des Messgases bei hohen Temperaturen auf die Permeabilität.
- Fortführung der Untersuchungen zum Einfluss der Anisotropie auf Diffusion und Permeation.
- Untersuchungen zum Einfluss der Druckanstiegsgeschwindigkeit am Probeneintritt auf die stationäre und instationäre Gaspermeabilität

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		Förderkennzeichen: 02 E 10025
Vorhabensbezeichnung: Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2005 bis 30.11.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 463.334,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Michel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zum Nachweis von Funktion und Langzeitstabilität von Organotonen werden diese nach Einwirken simulierter Endlagerbedingungen (erhöhte Temperatur, ionisierende Strahlung, Einfluss von Mikroorganismen, Konkurrenz durch DOM) hinsichtlich ihrer Sorptionsfähigkeit für Iod und ihrer Mikrostruktur geprüft. Weiterhin werden zur Verbesserung des Verständnisses der Tonstrukturveränderungen bei Sorptionsprozessen und bei Einwirkung der Nahfeldbedingungen Monte-Carlo Simulationen durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Herstellung von Organotonen (OT) im Labormaßstab
- AP2: Exposition der Organotone (Temperatur, Strahlung, Mikroorganismen)
- AP3: Sorptionstests in Batchversuchen vor und nach der Exposition
- AP4: Strukturanalyse der Organotone bei verschiedenen Temperaturen, vor und nach der Exposition
- AP5: Wechselwirkung der Organotone mit gelöster organischer Substanz
- AP6: Kennzeichnung des Zwischenschichttraums der OT
- AP7: Monte-Carlo Simulationen der Zwischenschichtstruktur der Organotone und der Sorptionsprozesse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Die Exposition von Organotonen gegenüber ionisierender Strahlung und hohen Temperaturen ist, abgesehen von einem Wiederholungstest bei 110 °C, abgeschlossen. Eine zusätzlicher Variante, bei der pulverförmiger und in Pellets gepresste Organotone (durchschnittliche Dichte: etwa 1,65 g cm⁻¹) bei 200 °C in Laborluft bzw. in Stickstoffatmosphäre vorbehandelt wurden, ist ebenfalls abgeschlossen. Die Brutversuche mit Bodenmikroorganismen werden noch mehrere Wochen in Anspruch nehmen. Neben dem Vergleich der Dehydrogenaseaktivität in sterilen, nicht sterilen und mit Mikroorganismen angeimpften Organotonen ist ein Inhibitionstest mit einzelnen Bakterienstämmen und den entsprechenden Tonen vorgesehen.

AP3: Bei der Temperaturbehandlung von Organotonen ist nicht nur die Höhe der Temperatur entscheidend für die anschließende Iod-Sorptionsfähigkeit der Tone. Die jeweils herrschende Atmosphäre (Laborluft, N₂) und die Packungsdichte spielen ebenfalls eine Rolle. HDPy-Bentonit in Pellet-Form zeigte nach 5 Tagen bei einer Behandlung mit 200 °C in N₂-Atmosphäre eine wesentlich höhere Temperaturstabilität (28,5 % rel. Sorption) als nach Erhitzen in Laborluft (13,1 % rel. Sorption). Die Exposition gegenüber Gammastrahlung wirkte sich bei den untersuchten OT unterschiedlich auf deren Sorptionsverhalten aus. Während selbst im Anschluss an eine Dosis von 5000 kGy die Sorptionsfähigkeit des HDPy-Bentonits bei einer Konzentration von 10⁻³ mol L⁻¹ (entspr. 2,5 g Iod pro kg OT in den Batchversuchen) praktisch unverändert blieb, nahm die des BE- bzw. TPP-Bentonits um rund 75 bzw. 80 % ab.

AP4: Proben nach Temperaturvorbehandlungsversuchen wurden spektroskopisch und röntgenographisch untersucht. Mit der Auswertung soll die Interpretation der Sorptionsversuche verbessert und Vergleiche mit früheren Messreihen durchgeführt werden.

AP5: Die photometrische Quantifizierung der durch die Reaktion der Organotone mit gelöster organischer Substanz (DOM) freigesetzten organischen Kationen wurde wegen der Konzentrationsabhängigkeit der UV-VIS Spektren bei verschiedenen Verdünnungsstufen durchgeführt. Es wurden spektrale Verschiebungen der Absorptionsbanden der organischen Kationen durch die Reaktion mit DOM festgestellt, die nur eine Auswertung bzgl. minimaler und maximaler Werte des desorbierten HDPy und BE zuließen. Im Vergleich mit den aufgenommenen Mengen sind die desorbierten Mengen verhältnismäßig gering und lassen sich durch Desorptionsreaktionen an den äußeren Oberflächen erklären.

AP6: Dem Einfluss verschiedener Mengen sorbierter organischer Kationen an den äußeren Oberflächen auf den Stofftransport in Organotonen wurde in Diffusionsversuchen in einer an der ATR-Einheit des FTIR-Spektrometers befestigten Zelle nachgegangen. Hierfür wurden verschiedene HDPy-, BE- und TPP-Montmorillonite bei Wassersättigung bzw. Teilsättigung (55 %) und zwei Raumdichten eingesetzt. Nach den vorangegangenen eingehenden Untersuchungen an HDPy-Montmorillonit konnte auch für BE- und TPP-Montmorillonite mit zunehmender Belegung mit organischen Kationen und abnehmender Wassersättigung eine Abnahme der Diffusionsgeschwindigkeit beobachtet werden. Gleiche Prinzipien für die Diffusionsgeschwindigkeit bei den verschiedenen Organotonen konnten auch in Abhängigkeit von der Dichte beobachtet werden.

Zur Identifizierung verschiedener Mikrostrukturen wurden Messungen in einer 30° Reflexionseinheit und in einer Transmissionseinheit mit unterschiedlich polarisiertem Licht für HDPy-Montmorillonit vorgenommen. Für die Messung im Transmissionsmodus wurden IR-transparente Si-Wafer benutzt. Zur Interpretation der Spektren wurden Messungen an orientierten Einkristallen aus Biotit durchgeführt. Die Auswertung dieser Messungen und die Untersuchung der Mikrostruktur von Proben von BE- und TPP-Montmorillonit werden zurzeit durchgeführt.

AP7: Monte-Carlo-Simulationen der TPP-Anordnung an der äußeren Oberfläche des TPP-modifizierten Montmorillonits in Abhängigkeit vom Belegungsgrad wurden teilweise (für niedrigeren Belegungsgrade) abgeschlossen. Die Simulationen für höhere Belegungsgrade werden voraussichtlich innerhalb weniger Wochen Rechenzeit den Gleichgewichtszustand erreichen. In diesen Simulationen befinden sich TPP⁺-Ionen in Anlehnung auf experimentelle Bedingungen in einer wässrigen TPPCl-Lösung. Die bisher erhaltenen Strukturen zeigen, dass TPP-Ionen bei niedrigeren Belegungsgraden an der Oberfläche des Montmorillonits adsorbiert werden und mit Cl-Ionen assoziiert bleiben. Bei höheren Belegungsgraden tritt eine Segregation zwischen den adsorbierten TPP-Ionen und denen, die in der wässrigen Lösung bleiben. Die modellierten Strukturen ermöglichen eine quantitative Diskussion bezüglich der in den elektrokinetischen Experimenten beobachteten positiven Ladung der äußeren Oberfläche des TPP-modifizierten Montmorillonits.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der Batchversuche mit exponierten Proben
- Versuche zum Einfluss von Mikroorganismen
- Untersuchung der Mikrostruktur in der Reflexionseinheit am FTIR-Spektrometer
- Weiterführung systematischer Messreihen zur Diffusion in Organotonen in der ATR-Einheit des FTIR-Spektrometers; Versuche bei Sättigung und verschiedenen Raumdichten
- Quantifizierung des Gehalts organischer Kationen in DOM-Lösungen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München		Förderkennzeichen: 02 E 10035
Vorhabensbezeichnung: Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2005 bis 30.04.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 389.880,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Türler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Erforschung der Bildung von aquatischen Kolloiden, wie Actinidionen darin inkorporiert werden und wie die kolloidgetragene Migration der Actinide ablaufen wird. Die Entstehung von aquatischen Kolloiden im Nahbereich eines Endlagers wird zwangsläufig von einer Wechselwirkung mit den im Grundwasser gelösten Actinidionen begleitet sein. Actinidhaltige Kolloide (Pseudokolloide von Actiniden genannt) die dabei erzeugt werden, können dann ungehindert mit dem Grundwasser migrieren. Angesichts der Tatsache, dass die kolloidgetragene Migration der Actinide der größte Unsicherheitsfaktor eines nuklearen Endlagers darstellt, ist eine genaue Analyse der Entstehungsprozesse von aquatischen Kolloiden sowie von Pseudokolloiden von Actiniden unerlässlich. Die Bildung dieser Kolloide beruht auf vielfältigen und komplizierten Reaktionsverläufen, die nicht direkt in natürlichen Systemen untersucht werden können, sondern nur an Einzelvorgängen und durch Simulationen in Laborsystemen schrittweise aufgeklärt werden können.

Dieses Vorhaben, das sich mit den Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden befasst, ist als eine Ergänzung zum Vorhaben 02E9763 zu sehen. Letzteres Projekt befasst sich hauptsächlich mit anorganischen aquatischen Kolloiden bzw. entsprechenden Pseudokolloiden von Actiniden. Das Forschungsprojekt wird in Kooperation und mit Unterstützung des Instituts für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK-INE) durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- (I): Untersuchung der Bedingungen für die Bildung und Stabilität von Huminkolloiden
- (II): Untersuchung der Wechselwirkungen von Actiniden mit Huminkolloiden
- (III): Untersuchung des Migrationsverhaltens von Actiniden in kolloidalem Zustand

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Dieser Bericht umfasst weitergehende Untersuchungen zur Bildung und Charakterisierung von Aktinid-Pseudokolloiden, insbesondere den Einfluss der Huminsäure (HA) auf die Bindung zwischen Aktiniden und Hydroxyl-Aluminosilikat (HAS) - Kolloiden.

Die Untersuchungen befassten sich mit der Beständigkeit von HAS, Huminsäure Gohy-573 (HA) Kolloiden und kolloidgetragenen Aktiniden gegenüber Veränderungen, die bei natürlichen offenen Systemen auftreten, nämlich Verdünnungen, unterschiedliche pH-Werte, Temperaturveränderung, Auftreten von Liganden wie EDTA und Huminsäure, oder die Anwesenheit von Kationen wie Na^+ , Ca^{2+} and $\text{Al}(\text{OH})_x^{3-x}$. Diese Untersuchungen sind Teil der Gesamtzielsetzung Vorhersagen über die Verteilung und die Mobilität von Radionukliden in der Umwelt machen zu können. Die Ergebnisse zeigen, dass stabile HAS Kolloide in wässrigen Lösungen bei in der Natur relevanter Konzentration von Silizium und Aluminium und bei neutralem pH-Wert bestehen können. Längere Reaktionszeiten und / oder erhöhte Temperaturen stabilisieren sowohl Kolloide als auch Aktinide-Kolloid-Bindungen. Die gleichzeitige Anwesenheit von HAS und HA in Lösungen haben im Allgemeinen stabilisierenden Einfluss auf die Pseudokolloidbindung von Aktiniden (bezüglich pH-Wert und Si/Al-Konzentration). In diesem Vorhabenszeitraum wurden die gewonnenen Ergebnisse interpretiert und in Form einer Dissertationsarbeit, eines Abschlussberichts, sowie in Publikationen zusammengefasst bzw. im Detail wiedergegeben.

4. Geplante Weiterarbeiten

- die laufenden Experimente wurden abgeschlossen
- die Stabilität der HAS-Kolloide nach der Verdünnung wird durch die Kontrolle ihrer durchschnittlichen Größe und Teilchenzahl in Abhängigkeit von der Zeit untersucht

5. Berichte, Veröffentlichungen

M.A. Kim, P.J. Panak, D.C. Breban, A. Priemyshev, J.I. Yun, A. Mansel, J.I. Kim: "Interaction of Actinides(III) with Aluminosilicate Colloids. Part IV. Influence of Humic Acid", Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 296 (2007) 206-215.

D. Breban, Ph.D. Thesis "Provenance and Characterization of Aquatic Actinide Colloids: Nucleation of Aluminosilicate Colloids with Actinides", Fakultät für Chemie, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg (2007).

A. Priemyshev, M.A. Kim, J.I. Kim: Binding affinity of humic colloids to actinides – and what's behind, 2nd. Annual Workshop Proceedings 6th EC FP – FUNMIG IP, Stockholm, November 2006.

P.J. Panak, M. Bouby, M.A. Kim, J.I. Yun, D. Breban, A. Priemyshev, J.I. Kim, H. Geckeis, Th. Schäfer: „Colloid formation processes“. FZKA 7249 Annual Report 2005 (2006) 19-22.

GDCh-Wissenschaftsforum Chemie 2007, Ulm, 16. – 19. September 2007: A. N. Priemyshev: "Trace metal-humate interactions. Effect of aging time and metal concentration on the kinetic dissociation of Th(IV) from humic colloids".

2nd Annual Workshop of IP FUNMIG FP6 Integrated Project: Fundamental Processes of Radionuclide Migration, Stockholm, Sweden, November 21 – 23, 2006: A. Priemyshev, M.A. Kim, J.I. Kim: "Binding affinity of humic colloids to actinides – and what's behind".

2nd FUNMIG RTDC-2 Progress Meeting, Karlsruhe, Germany, July 31, 2006: A. N. Priemyshev, M. A. Kim, D.C. Breban, P. J. Panak, J. I. Yun, J. I. Kim, A. Mansel: "Interaction of actinides(III) with hydroxy-aluminosilicate colloids: influence of humic acid".

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10045
Vorhabensbezeichnung: Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2005 bis 30.09.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 828.660,00 EUR	Projektleiter: Rothfuchs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zur Vorbereitung der Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle in einer Tonsteinformation hat die französische Endlagerorganisation ANDRA im Sommer 2000 mit der Errichtung eines Untertagelabors in der Callovo-Oxfordian Tonsteinformation am Standort Meuse/Haute Marne im Pariser Becken begonnen. In diesem Untertagelabor wird seit Ende 2004 ein Forschungsprogramm durchgeführt, um Kenntnisse über die Tonsteinformation zu gewinnen und ihre Eignung als Wirtsgestein für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle nachzuweisen. Eine vorläufige Standortbewertung muss dem französischen Parlament bereits im Jahr 2006 vorgelegt werden.

Im Rahmen eines Kooperationsvertrages zwischen ANDRA/CEA und BMWi besteht die Möglichkeit, sich an diesem Forschungsprogramm zu beteiligen und eigenes Know-how zur Endlagerung gefährlicher Abfallstoffe in geologischen Tonformationen aufzubauen. Das Ziel der Beteiligung besteht in der Vertiefung des Verständnisses gekoppelter THM-Prozesse im konsolidierten Tonstein und der Verifizierung entsprechender konstitutiver Modelle. Hierzu werden numerische Simulationen von In-situ-Experimenten und Laboruntersuchungen zur Bereitstellung der in den Modellen verwendeten Materialparameter durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: *Modellierung:* Zum besseren Verständnis der gekoppelten THM-Prozesse sowie zur Verifizierung der aktuell eingesetzten konstitutiven Modelle sind numerische Simulationen der Experimente REP und TER vorgesehen.

AP2: *Laboruntersuchungen:* Sie dienen der Charakterisierung des Tongesteins und der Ermittlung der in den konstitutiven Modellen verwendeten Materialparameter, mit deren Hilfe die *in situ* durchgeführten Experimente und Messungen verifiziert bzw. interpretiert werden. Folgende Untersuchungen sind vorgesehen: Ein- und dreiaxiale Kriechversuche, Quelldruckbestimmungen, Schädigungs- und Verheilungsverhalten, Fluidausbreitung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Rahmen des TIMODAZ-Projekts war geplant, einen Simulationsversuch an großen COX-Tonkernen aus dem Untertagelabor Bure durchzuführen, um die Entwicklung und Verheilung der Auflockerungszone um einen HAW Bohrloch in einer Tonformation zu untersuchen. Der erste Versuch wurde an einer großen Tonprobe von 280 mm Durchmesser und 525 mm Länge mit einem Zentralbohrloch von 100 mm Durchmesser durchgeführt. Dabei wurden das gesamte THM-Testsystem der großen Triaxialprüfanlage geprüft und die ersten Erfahrungen bzw. Ergebnisse gewonnen. Der gelochte Prüfkörper wurde zunächst beim äußeren Mantel- und inneren Bohrlochdruck von 15 MPa zum ursprünglichen In-situ-Zustand kompaktiert. Dabei wurde eine sehr niedrige Gaspermeabilität von 10^{-21} m^2 entlang der gesamten Probelänge bestimmt. Die Einwirkung der Bohrlochauffahrung wurde durch Reduzierung des inneren Bohrlochdrucks auf 2,5 MPa simuliert. Aber keine Änderung der Permeabilität wurde beobachtet, obwohl der Spannungszustand im gelochten Zylinder mit den um einen Bohrloch im URL herrschenden Gebirgsspannungen vergleichbar ist. Zur Erzeugung bzw. Vergrößerung der ALZ wurde die Radialspannung auf 3 MPa reduziert, wobei nach wie vor eine Erhöhung der Permeabilität nicht entdeckt wurde. Die anschließende Erhöhung der Axialspannung auf 23 MPa bewirkte eine starke Schädigung zum Bruch. Dabei wurde eine erhöhte Gaspermeabilität von 10^{-18} m^2 gemessen. Eine dadurch erzeugte Schädigung des Gummijaketts hat diesen Versuch leider beendet. Ein weiterer Simulationsversuch wurde gestartet und wird bis zu September gefahren.

Die einaxialen Kriechversuche an 6 COX-Proben wurden bei unterschiedlichen Belastungen von 1 bis 13 MPa über eine gesamte Zeitdauer von 2,5 Jahr weitergeführt. Jede Belastungsstufe dauerte ca. 4 bis 12 Monate. Erst nach 3 bis 5 Monaten ist ein stationärer Kriechzustand mit konstanter Verformungsrate erreicht. Die letzte Kriechphase wurde durch einen Stromfall unterbrochen und anschließend wieder gestartet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Weiterführung der einaxialen Kriechversuche
- Weiterführung der triaxialen THM-Versuche
- Starten und Durchführung des vorgesehenen großen Aufheizversuchs
- Bestimmung von Materialparametern für Modellrechnungen
- Modellierung des In-situ-Experiments TER und des Laboraufheizversuchs

5. Berichte, Veröffentlichungen

Zhang, C.L, Rothfuchs, T., Su, K. (2008): „Laboratory Experiments on the Thermal Effects on Clay Rocks” the 3rd the international conference on Coupled THMC processes in Geo-Systems, GEOPRO2008, Jue 1-5, 2008, Lille in France.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10055
Vorhabensbezeichnung: Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel: ISIBEL		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2005 bis 30.09.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 779.960,00 EUR	Projektleiter: Dr. Buhmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das verfügbare Instrumentarium für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für verglaste hochaktive Abfälle, abgebrannte Brennelemente und nennenswert Wärme entwickelnde Abfälle (HLW) wird überprüft und bewertet. Die Anforderungen an die einzusetzenden Instrumentarien werden katalogisiert. Der Katalog behandelt konzeptuelle Modelle, Szenarienanalyse, Bewertung der Wirksamkeit geologischer und technischer Barrieren (Integrität) sowie Bewertung möglicher Freisetzungen. Es wird geprüft, inwieweit adäquate Instrumentarien und Daten vorliegen und wie deren Anwendbarkeit auf der Grundlage vorliegender FuE-Ergebnisse zu bewerten ist. Schwerpunkte und Zielstellungen für ergänzende FuE-Arbeiten werden in Form einer Defizitanalyse formuliert.

Die gemeinsame Bearbeitung durch BGR, GRS und DBE Technology soll eine ausgewogene und vollständige Betrachtung aller Instrumentarien gewährleisten. Sofern erforderlich, sollen zu Einzelfragen weitere Forschungseinrichtungen hinzugezogen werden.

In der zweiten Phase des Projekts wird der vorliegende Entwurf eines FEP-Katalogs von externen Reviewern begutachtet. Auf Basis der Begutachtung wird der FEP-Katalog überarbeitet. Die in der ersten Phase vorgeschlagene Vorgehensweise für die Szenarientwicklung soll überarbeitet und abgestimmt werden. In weiteren Arbeitspaketen werden Detailfragen bearbeitet, die in der ersten Phase nicht angesprochen wurden, deren Bearbeitung sich aber als wichtig herausgestellt hat.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das hier berichtete Untersuchungsprogramm bezieht sich auf die 2. Phase des ISIBEL-Projekts, die von Januar 2008 bis September 2009 läuft und neue Arbeitspakete umfasst.

AP1: Überarbeitung des FEP-Katalogs

AP2: Szenarientwicklung

AP3: Definition und Bewertung des Isolationszustands „Sicherer Einschluss“

AP4: Behandlung von Unsicherheiten

AP5: Vorgehensweise bei einem Safety-Case-Konzept für ein HAW-Endlager im Salinar

GRS ist federführend für die Arbeitspakete 3, 4 und 5.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Gespräche: Kick-off-Treffen für die 2. Phase des Projekts am 08.04.2008.
Arbeitsreffen am 04.06.2008

- AP1: wurde während der Arbeitsreffen begleitet. Die FEP wurden inhaltlich nicht weiter bearbeitet
- AP2: wurde während der Arbeitsreffen begleitet. Der von BGR vorgelegte Entwurf zur Szenarientwicklung wurde kommentiert
- AP3: es wurde ein Konzept für ein einfaches Grubengebäude erstellt, das als Grundlage für die geplanten Rechnungen dienen soll. Dieses Konzept wurde mit den Projektpartnern diskutiert. Auf einem Arbeitsreffen wurde das weitere Vorgehen festgelegt
- AP4: es haben noch keine Arbeiten stattgefunden
- AP5: wurde der internationale Stand zusammengestellt und die allgemeine Vorgehensweise bei Safety Cases auf einem Arbeitsreffen vorgestellt. Die Übertragung der Elemente eines Safety Case auf Endlager im Salz wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Treffen mit den Reviewern zur Erläuterung und Diskussion. Nach Vorliegen des externen Reviews des FEP-Katalogs Beginn mit der Überarbeitung der einzelnen FEP.
- AP2: Diskussion des Vorschlags zur Szenarientwicklung und Erarbeitung einer abgestimmten Vorgehensweise.
- AP3: Modellrechnungen am einfachen Grubengebäude zur Ermittlung des potenziellen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs. Erarbeitung eines Entwurfs für die Definition des „einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“.
- AP4: Zusammenstellung des internationalen Stands bei der Vorgehensweise zur Berücksichtigung von Unsicherheiten.
- AP5: Übertragung der Elemente eines Safety Case auf Endlager im Salz. Vergleich der Besonderheiten zwischen Ton/Granit und Salz.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Die Berichte der Phase I wurden fertig gestellt.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 10065
Vorhabensbezeichnung: Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW – Kurztitel: ISIBEL		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2005 bis 30.09.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.012.476,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krone	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Aufbauend auf dem erreichten Stand von Wissenschaft und Technik liegt das wesentliche Ziel des Vorhabens in der Vollständigkeit des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW.

Die Phase II des FuE-Vorhabens ISIBEL knüpft unmittelbar an die Ergebnisse der Phase I des FuE-Vorhabens ISIBEL an und ist darauf gerichtet, wesentliche dort identifizierte Defizite bezüglich der Umsetzung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Salz zu beseitigen. Damit können wesentliche noch fehlende, methodische und wissenschaftlich-technische Grundlagen zur Verfügung gestellt werden, die für die Aufstellung eines Safety Case eingesetzt werden können.

Die zur Erreichung dieses Zieles notwendigen Schritte, bzw. Teilziele, werden im Arbeitsprogramm systematisch abgebildet. Ziel des AP1 ist die Überarbeitung des im Rahmen der Phase I von ISIBEL entwickelten Entwurfes des FEP-Kataloges im Hinblick auf seine Transparenz und Nachvollziehbarkeit durch Einbindung eines externen Expertenreviews.

Dieser FEP-Katalog bildet die Grundlage für eine erstmals durchzuführende vollständige Szenarienentwicklung im AP2, um die zukünftigen Entwicklungen eines HAW-Endlagers im Salinar im Nachweiszeitraum von 1 Mio. Jahren zu beschreiben.

Ein wesentliches Element des zugehörigen Sicherheitskonzeptes ist der Isolationszustand des sicheren Einschlusses, der Gegenstand der Arbeiten im AP3 ist, mit dem Ziel, hierzu eine fundierte Definition und geeignete quantifizierbare Indikatoren abzuleiten.

Ziel des AP4 ist es, für das im FuE-Vorhaben ISIBEL entwickelte Nachweiskonzept eine Analyse zu erwartender Unsicherheiten durchzuführen, Vorschläge für deren Behandlung zu erarbeiten, bzw. zu überprüfen, inwieweit das Instrumentarium dafür zur Verfügung steht oder noch entwickelt werden muss.

Im abschließenden AP5 soll aufbauend auf den Ergebnissen des FuE-Vorhabens ISIBEL und der vorangegangenen Arbeitspakete, sowie unter Berücksichtigung internationaler Erfahrungen ein

Vorschlag für die Struktur und die Inhalte eines Safety Case für ein HAW-Endlager im Salzgestein erarbeitet werden.

Obwohl die Arbeiten an Hand von möglichst konkreten geologischen und technischen Daten durchgeführt werden sollen, hat dieses FuE-Vorhaben die Intention, generell für ein technisch realisierbares Endlagerkonzept ein schlüssiges, nachvollziehbares und möglichst lückenloses Sicherheitsnachweiskonzept und somit die methodischen Grundlagen für einen Safety Case zu schaffen. Es ist weder Ziel des Vorhabens, Endlager auszulegen und hierzu den Sicherheitsnachweis im Hinblick auf eine Genehmigungsreife oder eine Standorteignungsaussage zu führen noch einen Safety Case zu erarbeiten. Es ist ebenso nicht vorgesehen, Einzelnachweise zu führen.

Das Vorhaben wird arbeitsteilig mit der BGR Hannover und der GRS Braunschweig abgewickelt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Überarbeitung des FEP-Katalogs - DBE TECHNOLOGY GmbH

AP2: Szenarienentwicklung - BGR

AP3: Definition und Bewertung des Isolationszustandes "Sicherer Einschluss" - GRS

AP4: Behandlung von Unsicherheiten - GRS

AP5: Vorgehensweise bei einem Safety-Case-Konzept für ein HAW-Endlager im Salinar - GRS

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es wird zu den AP's berichtet, für die DBE TECHNOLOGY GmbH verantwortlich ist.

Phase I des FuE-Vorhabens ISIBEL:

Die zur Phase I gehörigen Arbeitspakete wurden abgeschlossen. Die entsprechenden Berichte wurden fertig gestellt und an den Projektträger mit der Bitte um Freigabe übergeben.

AP1:

Überarbeitung des FEP-Katalog.

AP1.1: Erstellung und Pflege einer Datenbank.

Das Bearbeitungskonzept zur Programmierung der Datenbank wurde erstellt und zwischen BGR, GRS und DBE TECHNOLOGY GmbH abgestimmt. Mit der Erstellung der Datenbank wurde begonnen.

AP1.2: Review und Revision des FEP-Katalog.

Die Aufgabenstellung für den Review und die Revision des FEP-Katalog durch eine externe Expertengruppe unter Führung von Prof. Röhlig wurde erarbeitet und bei einem Projektgespräch zwischen Prof. Röhlig, BGR, GRS und DBE TECHNOLOGY GmbH abgestimmt

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Fertigstellung der Datenbank, die Übernahme der vorhandenen Daten aus dem FEP-Katalog sowie die Erprobung der Datenbank. Review des FEP-Kataloges und Überarbeitung der FEP-Beschreibungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10075	
Vorhabensbezeichnung: Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lösungen bei Temperaturen bis 90 °C – Kurztitel: FeT90			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2005 bis 30.06.2009		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 698.417,00 EUR		Projektleiter: Dr. Moog	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel ist die Ermittlung von thermodynamischen Daten, die die geochemische Modellierung der Eisen(II)-Chemie bei Temperaturen zwischen 25 und 90 °C ermöglichen.

Ein weiteres Ziel ist die Erweiterung des bestehenden Parametersatzes für basische Fe(II)-Lösungen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Literaturstudie
2. Dampfdruckmessungen
3. Löslichkeitsmessungen
4. Untersuchung fester Lösungen
5. Untersuchung metallischer Korrosionsprodukte in quinären, hochsalinaren Lösungen
6. Auswertung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Dampfdruckmessungen:

Tests zur Funktionsfähigkeit der nun eingesetzten modifizierten Apparatur für isopiestic Messungen bei höheren Temperaturen ergaben, dass die verwendeten Tiegel nicht hinreichend wägekonzant waren. Für weitere Versuche wurden neue Prototypen hergestellt.

Literaturstudie:

Die Literaturrecherche für Fe(II)SO₄ wurde fast vollständig ausgewertet.

Löslichkeitsversuche:

Im Berichtszeitraum wurden die Untersuchungen zur Löslichkeit des Monohydrats im System Fe(II)-SO₄-H₂O fortgesetzt. Bei dem zu Ende des letzten Berichtszeitraums hergestellten Ansatz des Monohydrats bei 90 °C konnte inzwischen eine Gleichgewichtseinstellung festgestellt und die Beprobung abgeschlossen werden.

Auf eine Gleichgewichtseinstellung des Monohydrats bei 66 °C wurde bis Mitte Mai bereits 9 Monate gewartet. Aufgrund eines Stromausfalls Ende Mai, der einen Abfall der Badflüssigkeit um 5 °C zur Folge hatte, wurde in jüngster Zeit zunächst von einer Beprobung abgesehen.

Korrosionsversuche:

Die der Uni Greifswald mit einer Co-Röhre röntgendiffraktometrisch vermessenen Korrosionsprodukte wurden ausgewertet. Amakinit und Hibbingit konnten hierbei nicht nachgewiesen werden.

Eine aufwändige zweite Beprobung der Korrosionsprodukte in hochsalinaren Lösungen bei 25 und 83 °C wird momentan durchgeführt.

4. Geplante WeiterarbeitenDampfdruckmessungen:

Ermittlung des Problems bei dem momentanen Aufbau des isopiesticen Topfes für höhere Temperaturen sowie gegebenenfalls Erprobung der Funktionsfähigkeit des isopiesticen Topfes mit den neuen Tiegeln (s. o.). Falls der isopiestic Topf mit den neuen Tiegeln die Dichtigkeits- und Wägestabilitätstests besteht, wird ein neuer Topf mit den entsprechenden Tiegeln in Auftrag gegeben. Erst anschließend kann die volle Funktionsfähigkeit des Topfes geprüft und die Validierung anhand von Messungen im System NaCl-H₂O erfolgen. Die Ermittlung der Versuchsdauer erfolgt anschließend anhand von Messungen im System MgSO₄-H₂O bei unterschiedlichen Temperaturen. Daran schließt sich der Beginn der Messungen im System Fe(II)-Cl-H₂O an.

Literaturstudie:

Auswertung der Literaturrecherche bezüglich Fe(II)-OH-H₂O und Beginn der Auswertung der Recherche für Fe(II)-Cl-H₂O im System der ozeanischen Salze.

Löslichkeitsversuche:

Weiterführung der Untersuchung des Systems Fe(II)-SO₄-H₂O im Monohydratfeld (66 - 85 °C). Beginn der Untersuchung des Systems Fe(II)-OH-H₂O.

Korrosionsversuche:

Die Beprobung einer zweiten Charge der korrodierten Fe-Bleche und des übrigen korrodierten Materials in der Lösung wird zu Ende geführt. Die Proben werden mittels einer nachweisstärkeren Fe-Röhre an der Rheinisch-Westfälischen Hochschule Aachen erneut röntgendiffraktometrisch vermessen werden. Sollten sich hierbei nicht die Korrosionsprodukte Amakinit und Hibbingit nachweisen lassen, wird auf die experimentellen Arbeiten für das System Fe(II)(OH)-H₂O sowie auf die Untersuchung fester Lösungen (Amakinit, Hibbingit) verzichtet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 10086	
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur Auswirkung einer Temperaturerhöhung in Tonformationen in Deutschland im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit eines Endlagers und irreversible Veränderungen der potenziellen Wirtsformation -TemTon-			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche			
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2006 bis 31.01.2010		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 893.212,00 EUR		Projektleiter: Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Wesentliche Veränderungen einer potenziellen Endlagerformation entstehen durch die bergtechnische Auffahrung der untertägigen Hohlräume und durch die Einbringung einer großen Wärmemenge von den Wärme entwickelnden Abfällen. Die Wärme belastet die geotechnische Barriere, das Nahfeld bzw. den unterirdischen Einlagerungsbereich und das Fernfeld in der Umgebung des gesamten Endlagers. Es ist Ziel dieses Vorhabens, die Temperaturbelastung auf die drei genannten Bereiche im Zusammenhang mit dem Isolationspotenzial der Wirtsformation sowie mit der ingenieurtechnischen Realisierbarkeit der untertägigen Bohrlochlagerung zu charakterisieren. Aktuelle Untersuchungen in einem anderen Vorhaben (GENESIS) zeigen, dass Endlagerkonzepte für Tonstein-Formationen in Deutschland erreicht werden können, wenn man die Wärmeleitfähigkeit des Buffermaterials durch Zusatzstoffe erhöht. Dadurch wird die eingebrachte Wärme besser in die Tonformation abgeführt. Um diese Konzepte hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit zu prüfen, sind entsprechende Materialuntersuchungen vorgesehen. Die eingebrachte Wärme bedingt auch permanente temperaturinduzierte Spannungsveränderung, deren Einfluss auf die Stabilität von Einlagerungsbohrlöchern analysiert werden soll. Bei organischen Bestandteilen führt eine Temperaturerhöhung zu einer Reifung im Hinblick auf eine Kohlenwasserstoffgenese. Die Reifung organischer Bestandteile hängt wesentlich davon ab, welchen Temperaturen die Substanz im Laufe ihrer Geschichte ausgesetzt war und wie lange die Temperaturen gewirkt haben. Die durch die eingebrachte Wärme künstlich hervorgerufene Reifung vorhandener organischer Substanz soll anhand von Modellberechnungen quantifiziert werden. Eine Temperaturerhöhung in einer Tonformation würde auch Umwandlungsreaktionen beschleunigen und damit den chemisch/mineralogischen Stoffbestand des Gesteins verändern. Es soll geprüft werden, ob in den aussichtsreichen Tonformationen in Deutschland Mineralassoziationen vorkommen, die nicht in einem langfristigen Gleichgewichtszustand auftreten können. Diese Daten sollen als Basis dienen, um abzuschätzen, mit welchen Veränderungen man durch den Temperaturimpuls rechnen muss.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Thermische Optimierung einer geotechnischen Barriere durch Zusatzstoffe
- AP2: THM-Gesteinsverhalten im Einlagerungsbereich / Bohrlochstabilität
- AP3: Veränderung organischer Bestandteile
- AP4: Veränderung anorganischer Bestandteile

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Im Rahmen der Laborversuche zur Untersuchung der thermischen Eigenschaften von Bentonit-Additiv-Gemischen wurden für das auf Basis vorangegangener Versuche ausgewählte Referenzgemisch (Bentonit + 15 % Graphit) Messungen zur Bestimmung der Temperaturabhängigkeit der Wärme- und Temperaturleitfähigkeit, der spezifischen Wärmekapazität und der linearen thermischen Ausdehnung durchgeführt. Darüber hinaus wurde die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Wassergehalt der Probe bestimmt. Abschließend wurden sowohl die Wärmeleitfähigkeit als auch die Dichte der Proben als Funktion des Kompaktionsdruckes bestimmt, so dass auch die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Dichte vorliegt. Die insgesamt gefundenen Gesetzmäßigkeiten erlauben es, geeignete Gemische für einen In-situ-Einsatz zu konfektionieren.
- AP2: Im Untertagelabor in Bure läuft der Erhitzerversuch „TER“. Dieser hat zum Ziel, das thermo-hydro-mechanische Verhalten des Callovo-Oxfordian Tonsteins bei einer maximalen Temperaturbelastung von 100°C zu untersuchen. Durch mehrmalige Erhitzerausfälle ergaben sich ungewollt verschiedene Aufheizphasen des Gebirges, die sowohl einzeln, als auch in ihrer Gesamtheit ausgewertet werden können. Insbesondere die letzte Aufheizphase zeigt signifikante Unterschiede zu den vorhergehenden, die keines der den Versuch begleitenden Modellierungsteams mit ihren Modellen plausibel erklären kann. Die Modelluntersuchungen bzw. die vorliegenden Messdaten deuten darauf hin, dass technische Fehler seitens der Kontrolle des Heizsystems oder der Messtechnik zu den unplausiblen Daten führen. Das Problem soll mit den verantwortlichen Firmen geklärt werden.
Zur Simulation der zeitlichen Entwicklung der EDZ, insbesondere der Rissentwicklung, wurden erste Modelle mit dem Computer-Code PFC erstellt und erfolgreich getestet.
- AP5: Dieses Arbeitspaket wurde im Laufe des Berichtszeitraumes in das Vorhaben aufgenommen. Mit diesem AP wird eine Beteiligung an dem von der NAGRA geplanten Versuch, dem sogenannten MB test (mine-by test) im URL Mt. Terri ermöglicht. Ziel ist es, die hydromechanische Reaktion des Opalinustons auf eine Streckenauffahrung zu erfassen. Diese wird dazu messtechnisch begleitet, wobei der zu durchörternde Gebirgsbereich zum Teil im Vorfeld instrumentiert wird. Ein Hauptaugenmerk wird auf die Erfassung der auffahrungsbedingten Porenüberdrücke sowie die Gebirgsverformungen und deren zeitliche Entwicklung gelegt. Die Erkenntnisse werden helfen, Defizite bei der Beschreibung des HM-Verhaltens von Tonstein sowie der Entstehung und des zeitlichen Verlaufes der Entwicklung der EDZ (vgl. AP-2) zu schließen. Die Beteiligung an diesem Experiment beinhaltet die Interpretation der Versuchsergebnisse, insbesondere die versuchsbegleitende numerische Modellierung. Absprachen dazu wurden mit Nagra getroffen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: 1. Fortführung der versuchsbegleitenden Modellierung der Erhitzerphasen im TER-Versuch in Bure zur Verbesserung der Parameter-Identifikation.
2. Simulation der zeitlichen Entwicklung der EDZ und ihres Riss-Systems.
- AP5: Modellerstellung zur versuchsbegleitenden Modellierung inkl. Funktionstest.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- Buntebarth, G. & Jobmann, M. (2008): Zur Wärmeleitfähigkeit von 2-Komponenten-systemen, 36. Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft (DGG), Freiberg.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 10096
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2006 bis 30.04.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 447.400,00 EUR	Projektleiter: Dr. Geckeis	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Während der Kenntnisstand zur aquatischen Chemie der Radionuklide mittlerweile große Fortschritte gemacht hat, sind bei der Kolloidproblematik generell noch viele Fragen offen. Die Mechanismen der Kolloidentstehung in einem Endlager sind noch nicht ausreichend verstanden und der kolloidgetragene Radionuklidtransport in einem Endlager ist für ein bestimmtes Szenario derzeit schwer zu quantifizieren. Als eine relevante Kolloidquelle in vielen Endlagerkonzepten gilt die Bentonitbarriere. Je nach den geochemischen Gegebenheiten können kolloidale Tonpartikel aus ihr freigesetzt werden.

Hauptziel des Vorhabens ist es, ein verbessertes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Radionuklid-Kolloid und Kolloid-Gesteinsoberflächen sowie der zugrunde liegenden Mechanismen unter naturnahen Bedingungen am Beispiel geklüfteter Granitsysteme zu erreichen. Auf dieser Basis soll die Relevanz des kolloidgetragenen Radionuklidtransports hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines Endlagers in einer Hartgesteinsformation bewertet werden. Darüber hinaus werden generische Aussagen zur Kolloidrelevanz erarbeitet. Der Beitrag des INE, auf den sich der vorliegende Bericht bezieht, konzentriert sich auf experimentelle Arbeiten im Labor und in Untertagelabors sowie die begleitende Erstellung hydraulischer Modelle. Die Arbeiten der GRS fokussieren sich auf die Anwendung, Weiterentwicklung und Qualifizierung von Rechenprogrammen für die Langzeitsicherheitsanalyse. In dem vorliegenden Bericht werden die Arbeiten des INE beschrieben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelle Arbeiten (INE)
- AP1.1: Laborprogramm zu Mechanismen der Kolloid-RN-Kluftmineral-Wechselwirkung
- AP1.2: In-situ-Experimente zur kolloidgetragenen RN-Migration
- AP2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS/INE)
- AP2.1: Parametrisierung von TRAPIC (GRS)
- AP2.2: Vorausberechnung für das CFM Experiment (GRS)
- AP2.3: Bewertung des kolloidgetragenen RN Transports (GRS)
- AP2.4: Modellrechnungen zum Standort Äspö (GRS)
- AP2.5: Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen (INE)
- AP3: Integration und Abschlussdokumentation (Executive Summary) (GRS/INE)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Status: Die experimentellen Arbeiten zur Kolloidstabilität sind weitestgehend abgeschlossen. Die Arbeiten zur Kolloidgeneration, zur Wechselwirkung von Modellkolloiden mit Gesteinsoberflächen, der Mock-up Test für den CFM In-situ-Experiment sowie die Labormigrationsstudien an Bohrkernen werden fortgesetzt.

AP1.1: Die Experimente zeigten (on-line LIBD Kolloidmessung) eine ansteigende Kolloidfreisetzung bis in den Bereich 10-20 mg/L. Variation der Kontaktlösung bzgl. Ionenstärke, mono- oder bivalenter Kationen-

Zusammensetzung und des pH-Wertes zeigten, dass die Ergebnisse der Koagulationstudien zur Kolloidstabilität im Einklang mit den beobachteten Bentonit-Erosionsraten stehen. Speziell die bivalente Kationenkonzentration im Bereich $< 1\text{mM}$ und die pH- abhängige kritische Koagulationskonzentration Natrium-dominierte Kontaktwässer spielen eine entscheidende Rolle. Die geochemische Umgebung ist ein wesentlicher Parameter für die langfristige Bewertung der Stabilität des Bentonit-Puffers und der Kolloidmobilität ist.

Die bisher gemessenen Kraft-Abstandskurven an Muskovit (pH 2-6, $I = 0.01\text{ M NaCl}$) wurden mit berechneten Kurven (nach der DLVO- Theorie) verglichen. Die Messwerte können durch Variation der Debye-Längen oder des Oberflächenpotentials von Muskovit beschrieben werden. Weiterhin wurden unter allen Messbedingungen (bei Entfernungen $< 5\text{ nm}$) auch nicht- DLVO- Kräfte (wahrscheinlich Hydratationskräfte) gemessen.

AP1.2: Die Arbeiten sind durch Probleme am Megapacker-System zeitlich verzögert worden. Ein erster Homologen-Test (Th, Hf, Tb) mit Febex- Bentonitkolloiden fand im Frühjahr 2008 in der MI- Scherzone statt. Trotz vierfach erhöhter Kluftverweilzeit konnte ein quantitativer Wiedererhalt der Kolloide und sehr hohe Wiedererhalte für die Homologen beobachtet werden. Die gemessene An(IV) Mobilität steht grundsätzlich in Einklang mit voraussagenden Modellierungen der GRS von 86 % Wiedererhalt. Die beobachtete hohe Mobilität und fehlende Größenchromatographie der Kolloide lässt vermuten, dass es sich bei dem Strömungsfeld dieses Dipols um einen breiten Fließkanal handelt. Die Erkenntnisse dieses Tests dokumentieren die Sensitivität des Kolloidtransports hinsichtlich der Fließkanalgeometrie und Heterogenität der Kluft.

AP2.5: In der ersten Phase des CFM-Projekts wurde eine Serie von Feldexperimenten mit Uranin durchgeführt, um eine optimale Lokation für das geplante Hauptexperiment zu erörtern. Die Tracerversuche wurden durch Modellrechnungen begleitet, um die hydraulischen Verhältnisse und die Transporteigenschaften besser verstehen und interpretieren zu können. Mit Hilfe eines 2D-Modells konnte die zeitliche Entwicklung von Durchbruchkurven von Uranin zufriedenstellend reproduziert und die wichtigsten Transportparameter des porösen Kluftmaterials an zwei Versuchsfeldern bestimmt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Kolloidgenerationsexperimente mit kompaktiertem, markiertem Bentonit werden fortgeführt. Migrationsexperimente an dem Bohrkern Mock-up Test werden durchgeführt, In-situ-Experimente mit Radionuklidhomologen und Bentonitkolloiden unter Variation der Dipols und der Verweilzeit sind in Vorbereitung. Experimente mit der AFM Technik werden fortgesetzt.

AP2.5: Weiterentwicklung des 2D-Modells in dem Scherzonenbereich. Durchführung einer Parameterstudie hinsichtlich der Auswirkungen von hydraulischen Kennwerten und den Randbedingungen auf das Strömungsfeld. Modellierung der Bohrkernexperimente.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Pudewills, A. (2008): Modelling of Tracer Tests in a Shear Zone at the Grimsel Test Site, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 7417.

Kunze, P., Seher, H., Hauser, W., Panak, P.J., Geckeis, H., Schäfer, T. (2008, in press): *Radionuclide speciation in the Grimsel granite groundwater Febex bentonite pore water mixing zone*. 6th EC FP IP FUNMIG Edinburgh 26th - 30th November 2007, (Buckau, G.; Kienzler, B.; Duro, L.; Montoya, V.; eds), NDA Report.

Seher, H., Schäfer, T., Geckeis, H., Fanghänel, Th. (2008): Bentonite colloid stability under geochemical conditions relevant for a deep geological repository in fractured rocks. 22nd Conference of the European Colloid and Interface Society (ECIS), August 31 - September 5, Cracow, Poland.

P. Kunze, H. Seher, W. Hauser, P. J. Panak, H. Geckeis, T. Schäfer, Radionuclide speciation in the Grimsel granite ground-water Febex bentonite pore water mixing zone, *J. Contam. Hydrol.* (in review).

A. Filby, M. Plaschke, H. Geckeis, Th. Fanghänel, Interaction of carboxylated latex colloids with mineral surfaces. Abstracts of the X. Annual Linz Winter Workshop: Advances in single-molecule research for biology and nanoscience, Linz, February 15-19, 2008 (Abstract), S. 1-9.

A. Filby, M. Plaschke, H. Geckeis, Th. Fanghänel, Interaction of carboxylated latex colloids with mineral surfaces, *J. Contam. Hydrol.* (in review).

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10106	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse			
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2006 bis 30.04.2009		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 271.750,00 EUR		Projektleiter: Dr. Noseck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Während der Kenntnisstand zur aquatischen Chemie der Radionuklide mittlerweile große Fortschritte gemacht hat, sind bei der Kolloidproblematik generell noch viele Fragen offen. Die Mechanismen der Kolloidentstehung in einem Endlager sind noch nicht ausreichend verstanden und der kolloidgetragene Radionuklidtransport in einem Endlagersystem ist für ein bestimmtes Szenario derzeit schwer zu quantifizieren. Die Bentonitbarriere gilt in vielen Endlagerkonzepten als eine relevante Kolloidquelle. Je nach den geochemischen Gegebenheiten können kolloidale Tonpartikel aus dem Bentonit freigesetzt werden.

Hauptziel des Vorhabens ist es, ein verbessertes Verständnis der Wechselwirkung zwischen Radionuklid-Kolloid und Kolloid-Gesteinsoberflächen sowie der zugrunde liegenden Mechanismen unter naturnahen Bedingungen am Beispiel geklüfteter Granitsysteme zu erreichen. Auf dieser Basis soll die Relevanz des kolloidgetragenen Radionuklidtransports hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines Endlagers in einer Hartgesteinsformation bewertet werden. Darüber hinaus werden generische Aussagen zur Kolloidrelevanz erarbeitet. Der Beitrag des INE konzentriert sich auf experimentelle Arbeiten im Labor und in Untertagelabors sowie die begleitende Erstellung hydraulischer Modelle. Die Arbeiten der GRS fokussieren sich auf die Anwendung, Weiterentwicklung und Qualifizierung von Rechenprogrammen für die Langzeitsicherheitsanalyse. Im vorliegenden Bericht werden die Arbeiten der GRS beschrieben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Experimentelle Arbeiten (INE)
- AP1.1: Laborprogramm zu Mechanismen der Kolloid-RN-Kluftmineral-Wechselwirkung
- AP1.2: In-situ-Experimente zur kolloidgetragenen RN-Migration
- AP2: Modellrechnungen zum kolloidgetragenen RN-Transport (GRS/INE)
- AP2.1: Parametrisierung von TRAPIC (GRS)
- AP2.2: Vorausberechnung für das CFM Experiment (GRS)

- AP2.3: Bewertung des kolloidgetragenen RN Transports (GRS)
- AP2.4: Modellrechnungen zum Standort Äspö (GRS)
- AP2.5: Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen (INE)
- AP3: Integration und Abschlussdokumentation (Executive Summary) (GRS/INE)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Teilnahme am „3rd CFM (Colloid Formation and Migration) modelling group meeting“ (19.-20.02.2008, Interlaken). Vortrag zum GRS-Ansatz zur Beschreibung der CFM- und CRR-Experimente und der Wahl der Modellparameter.
Teilnahme am KOLLORADO-Projekttag (07.-08.04.2008, Karlsruhe). Präsentation der Arbeiten und Abstimmung zwischen Modellierern und Experimentatoren zur Modellierung der geplanten Homolog-Experimente und weiterer begleitender Experimente.
Wiederaufnahme von Testrechnungen zum Vergleich von den GRS-Transport und -Hydrodynamik-Codes r^3t/d^3f mit dem vom INE benutzten Programm ADINA-F. Verwendung einfacher Modelle, die in abgestufter Form bestimmte Aspekte des CFM-Experiments skizzieren. Untersuchungen zur Konvergenz von Zielgrößen (absolute Masse von Tracern/sorbierenden Nukliden im Modellgebiet, Konzentrationen am virtuellen Beobachtungsort) bei Änderungen der räumlichen und zeitlichen Diskretisierung der Rechnungen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Abschluss der Vergleichsrechnungen r^3t/d^3f -ADINA-F mit INE.
Simulation des 1. CFM-Homolog-Experimentes und Kalibrierung der Modellparameter. Untersuchung von Variationen im Hinblick auf Geometrie und Anisotropien hydrogeologischer Größen. Überprüfung der Prädiktionskraft des GRS-Modells durch Vorausberechnung des für Dezember geplanten 2. Homolog-Experiments unter veränderten hydraulischen Bedingungen.
- AP3: Das nächste Projekttag GRS/INE soll im Januar 2009 in Braunschweig stattfinden. Ein weiteres Treffen der CFM modelling group ist für Herbst 2008 geplant.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Beitrag mit Darlegung der GRS Modellierungsstrategie zum Bericht.

P. A. Smith, I. Blechschmidt, V. Cvetkovic, C. Degueudre, I. Gaus, K. Iijima, M. Kuentzel, G. W. Lanyon, I. Neretnieks, U. Noseck, A. Pudewills, T. Schaefer and P. Reimus: CFM Phase I Modelling Report. NAGRA, NAB XX-XX, 2008.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10116
Vorhabensbezeichnung: Barriereintegrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs in Tonformationen (BET)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 30.06.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 709.575,00 EUR	Projektleiter: Dr. Miehe	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Vorhaben BET soll der grundsätzliche Mechanismus der Gasausbreitung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich eines ungestörten konsolidierten Tonsteins geklärt und die infolge höherer Gasdrücke zu erwartenden signifikanten Änderungen der hydraulischen Eigenschaften (Gaseintrittsdruck, effektive Permeabilität) quantifiziert werden. Im Hinblick auf die Ableitung relevanter Prozessmodelle soll der Frage nachgegangen werden, ob der Gaseintritt ins Gebirge vorrangig dilatanzgesteuert, d. h. durch Aufweitung des vorhandenen Porensystems mit einhergehender Erhöhung der Permeabilität oder durch die Bildung neuer diskreter Risse infolge des Überschreitens der minimalen Hauptspannung (Frac) stattfindet. Für die Belange der Langzeitsicherheit des Endlagers soll darüber hinaus geklärt werden, ob und mit welchem zeitlichen Verlauf es zu einer Rückbildung bzw. Verheilung der gebildeten Fließwege kommt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: In-situ-Untersuchungen: In Bohrungen wird eine gasdruckinduzierte Schädigung des Gebirges mit Bestimmung der Gasinfiltrationsrate nach Gaseintritt durch Gasdruckaufbau erzeugt. Anschließend erfolgen Untersuchungen zum Verheilungsverhalten des geschädigten Gebirges durch zeitlich gestaffelte Wiederholung der Gas-Fracdruckmessungen.
- AP2: Laboruntersuchungen: Erzeugung einer gasdruckinduzierten Schädigung bei unterschiedlichen mechanischen Belastungen und Gasinjektionsraten sowie Untersuchungen, wie sich Wegsamkeiten bilden und verhalten (dilatanzbedingte Aufweitung von Fließwegen und vorhandener Risse oder Bildung neuer Risse). Untersuchung des Verheilungsverhaltens der geschädigten Proben unter den in Mt. Terri herrschenden In-situ-Bedingungen bezüglich der Gebirgsspannung, der Zeit sowie des Einflusses von Tonwasser und Überprüfung der Übertragbarkeit der an kleinen Proben ermittelten Laborergebnisse auf Proben größeren Maßstabs.
- AP3: Abschließende Bewertung der In-situ- und Laborergebnisse und Bereitstellung eines Schädigungsmodells.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Im Februar 2008 wurde ein Gasinjektionstest im Versuchsfeld im Messintervall BET6 durchgeführt. Wiederholungsinjektionen in BET2, BET5 und BET6 sowie Injektionstests in BET1 und BET4 erfolgten im Mai 2008. Folgende vorläufige Ergebnisse können festgehalten werden:

- Der Gaseintrittsdruck bei den senkrecht zur Schichtung gebohrten Messintervallen (BET4-6: oberhalb 2.4 MPa) ist grundsätzlich höher als bei den parallel zur Schichtung liegenden Intervallen (BET1 und BET2: 1.8 – 2 MPa).
- Bei den Wiederholungstests liegt der Eintrittsdruck um 0.3 bis 0.6 MPa niedriger.

Bei den Wiederholungstests ist zu berücksichtigen, dass die Messintervalle in der Zwischenzeit nicht wiederaufgesättigt wurden, so dass sie und vermutlich ein Teil des umgebenden Gebirges gaserfüllt blieben. Im nächsten Schritt wurden im Mai und Juni 2008 die Messintervalle wieder mit Pearsonwasser aufgesättigt und die Wasserinjektionstests zur Permeabilitätsbestimmung wiederholt. Diese werden zurzeit ausgewertet. Weitere Wasserinjektionstests sind für Anfang 2009 geplant, um festzustellen, ob der Ausgangszustand des Gebirges wieder erreicht wird.

AP2: Zur Ermittlung des Gasdurchbruchverhaltens wurde zunächst an einer Probe ein Gasinjektionsversuch bei einem Manteldruck von 8.0 MPa vorgenommen. Nach einem Gasdurchbruch bei ca. 8.9 MPa wurde die Gasinjektion eingestellt und die Probe sich selbst überlassen. Nach mehreren Stunden bis Tagen, stellte sich erneut ein Gasfluss und damit verbundener weiterer Druckabbau ein. Der Vorgang wiederholte sich intervallartig bis zu einem Poren- druck von ca. 4 MPa. Dieser Vorgang deutet auf ein kontinuierliches, Öffnen und Schließen von Fließwegen. Zur Ermittlung des Einflusses des Manteldrucks auf das Fließverhalten wurde dann der Manteldruck auf realistischere Gebirgsdruckverhältnisse von ca. 3.5 MPa herab- gesetzt, woraufhin sich erneut ein Gasfluss einstellt. Der Druck sank bis auf ca. 1.5 MPa ab. An einer weiteren Probe erfolgten die Untersuchungen von Anfang an bei einem Manteldruck von 3.5 MPa. Das Gas wurde in Druckstufen von anfangs mit 0.5 MPa und später mit 1 - 2 MPa bei Wartezeiten von ca. 1 Woche je Druckstufe injiziert. Erst nach Erreichen eines In- jektionsdrucks von ca. 6 MPa war ein deutlicher Gasfluss feststellbar. Danach baute sich der Druck im Gegensatz zur ersten Probe kontinuierlich bis auf ca. 1.8 MPa ab. Nach einer War- tezeit von ca. 2 Wochen wurden zwei „Re-frac“-Versuche vorgenommen, die eine signifikante Erhöhung des Gasflusses bei ca. 2.6 und 2.8 MPa aufwiesen. Mit einem dritten Versuch wurde begonnen. Im Vergleich zu den beiden vorhergehenden Versuchen war bereits bei Be- ginn der Gasinjektion ein ausgangsseitiger Fluss feststellbar. Der Versuch dauert an. Die Ver- suche zum „Fracturing“ der Proben erwiesen sich als langwieriger als geplant und führten zu Verzögerungen von ca. 3 Monaten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Wiederholung der Wasserinjektionstests.
Nach Erreichung des Ausgangszustandes Wiederholung des Gasinjektionstests
- AP2: Fortsetzung der Untersuchungen zur gasdruckinduzierten Schädigung
Untersuchungen zur Wiederverheilung
- AP3: wird bearbeitet, sobald hinreichende Ergebnisse der übrigen AP's vorliegen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 10126
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZ Karlsruhe		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 30.06.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 298.298,00 EUR	Projektleiter: Dr. Marquardt	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es wird eine einheitliche, umfassende und konsistente thermodynamische Referenzdatenbasis für ausgewählte Radionuklide für eine Temperatur von 25 °C entwickelt, die zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozesse eines Endlagers für radioaktiven Abfall eingesetzt werden soll. Es werden bereits bestehende, qualitativ hochwertige Datenbasen für Radionuklide zusammengeführt, auf Konsistenz geprüft, validiert und die Behandlung und Bewertung sorgfältig dokumentiert. Parallel dazu wird eine Datenbank entwickelt, in der die Daten integriert werden. Dieses Projekt läuft in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), dem Institut für Radiochemie des Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD), der TU Bergakademie Freiberg und der Colenco Power Engineering.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Projektmanagement: Koordination zur Datenerhebung der Radionuklid-Datenbasis im Verbundvorhaben. Erstellung von Berichten und Vorbereitung von Workshops, Vorstellung von Ergebnissen auf Konferenzen.
- AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation: Erstellung von Qualitätsrichtlinien, Archivierung von Quellenangaben und Rechnungen zur Validierung von Daten. Ziel der Validierung von Daten ist es zu prüfen, inwieweit verifizierte Rechencodes wie EQ3/6 mit Hilfe der erstellten Parameterdateien in der Lage sind, die Gleichgewichte in komplexen Lösungssystemen vorauszusagen.
- AP3: Datenbasis für Radionuklide: Erfassung und Bearbeitung der thermodynamischen Daten für die Radionuklide Tc, Th, Np, Pu, Am und Cm für die Temperatur von 25 °C. Es werden Festphasen als auch in wässriger Phase gelöste Spezies erfasst. Einzugebende Daten sind Bildungs- und Reaktionsdaten relevanter Spezies (z. B. $\log K^\circ$, $\Delta_f G_m^0$, $\Delta_r G_m^0$), die dazugehörigen Reaktionen, Wechselwirkungsparameter für das Pitzer- bzw. SIT-Modell, Qualitätsstufen, Quellenangaben und Kommentare.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Für Radionuklide wurden weitere Einlese-Listen im Excel-Format erstellt. Es werden hier entsprechend der logischen Struktur von THEREDA, Eingaben für die jeweiligen Festphasen (Phase), Spezies (PCON), Listen der Elementzusammensetzungen der Spezies und Festphasen, Listen für ionische Spezies (Metallionen und ihre Komplexe), Festphasen und die dazugehörige Literatur- und Autorenliste aufgenommen. Die Daten werden somit in eine Struktur gebracht, die eine direkte Umsetzung in die Datenbank von THEREDA ermöglicht.

In Fortführung früherer Arbeiten konnte für ternäre Ca-An(IV)-OH-Komplexe tetravalenter Actiniden (Th(IV), Pu(IV)) ein auf dem Pitzermodell basierendes thermodynamisches Modell abgeleitet werden. Zusammen mit vorhandenen Daten für dreiwertige Actiniden ist nun erstmalig möglich, das chemische Verhalten von Plutonium in konzentrierter CaCl_2 -Lösung unter reduzierenden Bedingungen (Anwesenheit von Fe-Pulver) adäquat zu beschreiben. Erste Testrechnungen mit dem GWB-Code bestätigen die Qualität des Modells.

Experimentelle Arbeiten zu fünfwertigem Np(V) in CaCl_2 -Lösung zeigen Hinweise auf die Ausbildung ähnlicher ternärer Komplexe wie bei drei- und vierwertigen Actiniden beobachtet, sowie das Vorliegen vorher nicht bekannter Ca-Neptunat-Festphasen. Ein auf diesen Arbeiten basierendes vorläufiges thermodynamisches Modell konnte erstellt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Wie in früheren Berichtszeiträumen, werden die Eingabe-Listen für die Datenbank (Liste der Reaktion, Liste der thermodynamischen Daten, Liste der Datenkategorisierung (Datenklasse, Datenquelle, Qualitätsstufen)) fortlaufend erweitert. Weitere Arbeiten werden zur Ableitung von Pitzer-Parametern durchgeführt, die für das Projekt eine zentrale Relevanz haben.

Auf der letzten Projektbesprechung wurde angeregt, als Basis für auf THEREDA basierender Testrechnungen, die Eingabe der Daten für Am(III) vollständig im zweiten Halbjahr 2008 von Seiten des FZK-INE abzuschließen. Dementsprechend werden prioritär die thermodynamischen Daten und Modellparameter (SIT, Pitzer) für dieses Nuklid in die Datenbasis integriert. Eine kontinuierliche Arbeit am THEREDA-Handbuch ist weiterhin erforderlich. Da im Rahmen von THEREDA angestrebt wird, auch für sehr komplexe Fragestellungen belastbare Aussagen zu liefern, – thermodynamische Beschreibung polymerer (kolloidaler) Hydrolysespezies, korrekte Modellierung reversibler/irreversibler Redoxreaktionen, Bewertung unterschiedlicher Ansätze zur Modellierung von Actiniden in Chloridlösung –, sind weitere konzeptionelle Arbeiten auf diesen Gebieten unerlässlich.

Am 12. November 2008 soll in Karlsruhe ein Fachgespräch zu THEREDA stattfinden, in welchem in mehreren Vorträgen von Seiten THEREDA und eingeladener Redner, die Relevanz und Möglichkeiten von diesem Projekt einem breiten eingeladenen Publikum aus unterschiedlichen Bereichen der Endlagerung vorgestellt wird. In diesem Kontext ist FZK-INE sowohl inhaltlich (Vortrag zu thermodynamischen Daten von Radionukliden) als auch organisatorisch involviert.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum wurde ein Manuskript mit dem Titel „*THEREDA – Ein Beitrag zur Langzeitsicherheit von Endlagern nuklearer und nichtnuklearer Abfälle*“ in der Aprilausgabe (2008) des Journal ATW - Internationale Zeitschrift für Kernenergie, publiziert.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 10136
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZD		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 30.06.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 91.185,00 EUR	Projektleiter: Dr. Brendler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt THEREDA (Partner: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe) entwickelt eine umfassende thermodynamische Datenbasis zur geochemischen Modellierung der Schadstofffreisetzung aus Endlagerprojekten. Hierzu bilden die beteiligten Projektpartner einen Kreis von Experten, der vorhandene thermodynamische Stoffgrößen sammelt, nach einheitlich vorher festgesetzten Kriterien bewertet und in einer Datenbank zusammenfasst. Besonderer Wert wird auf eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit von Datenbankeinträgen gelegt. Es ist vorgesehen, den bereits in anderen Datenbasen vorhandenen Datenbestand zu integrieren. Die Datenbank hilft bei der Identifikation von Wissenslücken und beim Entwurf von Strategien zu deren Schließung.

Im weiteren Verlauf des Vorhabens werden Werkzeuge zur Verfügung gestellt, um automatisiert anwendungsspezifische Parameterdateien aus der Datenbank zu generieren. Die Parameterdateien werden über das Internet der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Damit wird auch eine nützliche Informations-Rückkopplung an die Bereitsteller der Datenbank ermöglicht.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Projektmanagement
(Berichtswesen, Treffen mit Projektpartnern, Intranet)
- AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation
(Testrechnungen mit vom DB-Generator entwickelten Parameterdateien, Konsistenzprüfungen, Anwenderhandbuch)
- AP3: Datenbasis für die Radionuklide
(FZD: Uran und Radium)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Projektmanagement

- Aktivitäten wurden dem BMBF-Teilprojekt zugeordnet, siehe dort

AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation

- Verbesserter Entwurf für das Anwenderhandbuch in enger Zusammenarbeit mit Colenco Power Engineering AG (Baden/CH)
- Entwurf der Kapitel 3 (Richtlinien zur Datenauswahl) und 5 (Technische Grundlagen der Datenbank) des Handbuchs

AP3: Datenbasis für die Radionuklide

- Weitere Dateneingabe zum Uran (thermodynamischer Daten und Wechselwirkungsparameter)
- Start der Dateneingabe zum Radium

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1:

- Pflege und Erweiterung der Intranetseite

AP2:

- Erstellung weiterer Kapitel zum Handbuch (Dateneingabe, Datenausgabe)

AP3:

- Datenbewertung der Daten zum Uran
- Fortführung Dateneingabe zum Radium

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10146	
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse			
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 30.06.2009		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 77.452,00 EUR		Projektleiter: Dr. Hagemann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel dieses Teilvorhabens ist es eine einheitliche, konsistente und qualitätsgesicherte thermodynamische Referenzdatenbasis für die Matrixelemente Aluminium und Silizium zu schaffen, die zusammen mit den Referenzdatenbasen der anderen Teilprojekten eine umfassende thermodynamische Gesamtdatenbasis bildet. Diese soll zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozessen für die derzeit in Deutschland diskutierten Wirtformationen für ein Endlager radioaktiven Abfalls verbindlich verwendet werden.

Die Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) wird innerhalb dieses Teilprojektes die thermodynamischen Daten die Matrixelemente Aluminium und Silizium aus der Literatur zusammenstellen. Diese werden nach einheitlich vorher festgesetzten Kriterien bewertet und in einer Datenbank zusammenfasst.

Einen besonderen Schwerpunkt wird auf die Parameter, die zur Modellierung in salinaren Milieu benötigt werden, gelegt. Es handelt sich dabei um Ion-Ion-Wechselwirkungsparameter (Pitzer-Parameter). Für diese Pitzer-Parameter existiert bisher noch keine allgemein zugängliche, umfassende, abgesicherte und konsistente Datenbasis.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Entwicklung, Ergänzung und Dokumentation konsistenter thermodynamischer Datenbasen für Aluminium bei 25 °C
- Entwicklung, Ergänzung und Dokumentation konsistenter thermodynamischer Datenbasen für Silizium bei 25 °C
- Projektkoordination

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Projektmanagement: Im Berichtszeitraum erfolgte die Organisation und Durchführung zweier Projektmeetings
- Datenbank: Zur Verwaltung von in der Datenbank zitierter Literatur wurden geeignete Strukturen geschaffen. Somit erfolgt dies nicht über eine externe, unabhängige Datenbank, sondern ist direkt in THERDA integriert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im kommenden Projektzeitraum erfolgt die Eingabe von Daten zu Silizium und Aluminium in die Datenbank.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 10156
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 31.12.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 517.504,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Bernhard	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens sind Beiträge für zuverlässige Prognosen zur Ausbreitung von Actiniden in Tongesteinen in Gegenwart von Huminstoffen (HS) und Tonorganika. Es sollen die Wechselwirkungen zwischen Actiniden (U, Am), HS und einem natürlichen Tongestein untersucht werden. Die Arbeiten gliedern sich in Komplexbildungsuntersuchungen sowie Batch- und Diffusionsexperimente im System Actinid-(HS)-Tongestein-Wasser. Die Datenbasis zur U(IV)/U(VI)-HS-Komplexierung soll vervollständigt werden. Erkenntnisse zum Einfluss N- und S-haltiger HS-Funktionalitäten auf die Metallionen-Komplexierung sind zu erwarten, die der abschließenden Einschätzung der Rolle verschiedener HS-Funktionalitäten bei der Metallionen-Komplexierung dienen. Quantitative Daten zur Sorption/Migration sowie qualitative Daten zu gebildeten Oberflächenkomplexen und Transport bestimmenden Prozessen werden generiert. Das Forschungsvorhaben erfolgt in Kooperation mit den Förderprojekten der Universitäten Mainz, Saarbrücken, München, Potsdam, Heidelberg, des Instituts für Interdisziplinäre Isotopenforschung Leipzig und des Instituts für Nukleare Entsorgung Karlsruhe.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Synthese stickstoff- und schwefelhaltiger Huminsäure-Modellverbindungen und spektroskopische Charakterisierung der Heteroatom-Funktionalitäten
2. Untersuchung des Einflusses stickstoff- und schwefelhaltiger Funktionalitäten auf die U(VI)- und Am(III)-Komplexierung mit Huminsäuren und organischen Modellliganden
3. Bestimmung der Konzentrations- und Temperaturabhängigkeit der Komplexbildungskonstante für die U(VI)-Huminsäure-Komplexierung
4. Untersuchung der Bildung ternärer U(VI)-Carbonato-Humat-Komplexe
5. Untersuchung der U(IV)-Komplexierung durch Humin- und Fulvinsäuren
6. Identifizierung der für die Komplexierung von Actiniden in verschiedenen Oxidationszuständen relevanten funktionellen Gruppen der Huminstoffe
7. Quantifizierung und Charakterisierung der von Tonen freigesetzten anorganischen und organischen Kolloide
8. Untersuchungen zur U(VI)-Sorption an Opalinus-Ton und zum Einfluss von Huminstoffen auf die U(VI)-Sorption
9. Diffusionsexperimente zum U(VI)-Transport in Opalinus-Ton

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Die Synthese schwefelhaltiger und dazugehöriger schwefelfreier Huminsäuremodellsubstanzen wurde fortgesetzt und mit deren Charakterisierung (Elementzusammensetzung, Struktur, Funktionalität) begonnen. In Zusammenarbeit mit der Universität Mainz wurden erste XPS-Messungen zur Bestimmung der Schwefelspeziation in den Modellhuminsäuren durchgeführt. Mittels TRLFS erfolgten erste vergleichende Untersuchungen zum Einfluss schwefelhaltiger Huminstofffunktionalitäten auf die U(VI)-Huminsäure-Komplexierung.
- Die U(VI)-Komplexierung durch Anthranilsäure, als Modellligand für stickstoffhaltige Huminsäuren, wurde in Abhängigkeit vom pH-Wert bei einer Ionenstärke von 0.1 M mittels fs-TRLFS bestimmt. Ab pH 2.5 ist ein 1:1 Komplex nachweisbar. Die ermittelte Stabilitätskonstante ($\log K = 2.88 \pm 0.38$, pH 2.5) steigt jedoch mit steigendem pH-Wert (bis $\log K = 3.34 \pm 0.09$, pH 6.5). Vergleichsmessungen mittels UV/VIS-Spektroskopie bei pH 2.5 und 3.5 konnten die bei diesen pH-Werten mit fs-TRLFS ermittelten Konstanten bestätigen. Es wird eine Komplexierung des U(VI) durch die Carboxylgruppen angenommen.
- Für die U(VI)-Komplexierung durch Nicotinsäure (pH 2.5, I = 0.1 M) wurde mittels TRLFS die Bildung von 1:1 und 1:2 Komplexen des Typs $MpHqLr$ nachgewiesen. Die Stabilitätskonstanten betragen $\log \beta_{101} = 3.83 \pm 0.06$ und $\log \beta_{102} = 7.71 \pm 0.02$.
- Für die U(VI)- und Huminsäure-Sorption an Opalinuston wurde das optimale S/L-Verhältnis bestimmt, die Sorptionskinetik untersucht sowie Adsorptionsisothermen aufgenommen. Der Einfluss von Huminsäure auf die U(VI)-Sorption an Opalinuston wurde untersucht. Die Dominanz des $Ca_2UO_2(CO_3)_3(aq)$ -Komplexes im Porenwasser wurde nachgewiesen.
- Mit der Konditionierung von zwei Diffusionszellen zur Untersuchung der U(VI)-Diffusion in Opalinuston in Ab- und Anwesenheit von Huminsäure wurde begonnen. Die Zellen wurden zuvor am INE/FZK mit aeroben Opalinuston-Bohrkernproben bestückt.
- Die U(IV)-Komplexierung durch Mandelsäure, Glycolsäure und Bernsteinsäure wurde mittels UV/Vis-Spektroskopie in Abhängigkeit von pH-Wert und Ionenstärke untersucht.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der Synthese und Charakterisierung schwefelhaltiger Huminsäuremodellsubstanzen und Untersuchung ihres U(VI)-Komplexbildungsverhaltens mittels TRLFS u. fs-TRLFS.
- Spektroskopische Untersuchung der U(VI)-Komplexierung durch weitere Modellliganden (Thiosalicylsäure, Phenylphosphonsäure) sowie laserspektroskopische Untersuchungen zur Konzentrations- und Temperaturabhängigkeit der U(VI)-Huminsäure-Komplexierung.
- Untersuchung der U(VI)-Sorption an Opalinuston in Abhängigkeit des pH-Wertes und der Ionenstärke ($NaClO_4$ -System) unter aeroben und anaeroben Bedingungen. Charakterisierung der U(VI)-Opalinuston-Oberflächenkomplexe mittels TRLFS und EXAFS.
- Fortführung der Diffusionsversuche: HTO-Diffusion zur Bestimmung der Porosität; Start der U(VI)-Diffusion in Ab- und Anwesenheit von Huminsäure.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Sachs, S., Bernhard, G.: Sorption of U(VI) onto an artificial humic substance-kaolinite-associate. *Chemosphere* 72 (10), 1441-1447 (2008).

Barkleit, A., Foerstendorf, H., Heim, K., Sachs, S., Bernhard, G.: Complex formation of uranium(VI) with L-phenylalanine and 3-phenylpropionic acid studied by ATR FTIR spectroscopy. *Applied Spectroscopy* 62 (7), 798-802 (2008).

Schmeide, K., Křepelová, A., Sachs, S., Bernhard, G.: Comparison of the Am(III), Np(V) and U(VI) sorption onto kaolinite in the absence and presence of humic acid. 2nd International Nuclear Chemistry Congress INCC, Cancún, México, 13.-18.04.2008 (Vortrag).

Zuwendungsempfänger: Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55099 Mainz		Förderkennzeichen: 02 E 10166
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit natürlichem Tongestein		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 31.12.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 631.950,00 EUR	Projektleiter: Prof. Reich	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Sorption von Np und Pu an natürlichem Tongestein wird unter umweltrelevanten Bedingungen untersucht sowie der Einfluss von Huminstoffen auf die Sorption in Batch- und Diffusionsexperimenten studiert. Um die Wechselwirkungsprozesse auf molekularer Ebene zu verstehen, werden die dominierenden Sorptionsspezies mit Hilfe spektroskopischer Methoden (XPS, XANES und EXAFS) bestimmt. Wichtige Fragestellungen sind die Reversibilität und Kinetik der Sorption sowie die Rolle von Huminstoffen und eventuell auch von Tonorganika. Diese Untersuchungen sollen die thermodynamische Datenbasis für Actiniden erweitern sowie Informationen zur Ableitung von Bewertungskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Ton als Wirtsgestein, insbesondere über das Rückhaltevermögen von Tongestein gegenüber Radionukliden, liefern. Im Rahmen des Verbundprojekts wird schwerpunktmäßig mit dem Institut für Radiochemie des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf, dem Institut für Nukleare Entsorgung des Forschungszentrums Karlsruhe und der Universität des Saarlandes zusammengearbeitet.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Batchexperimente mit Np/Pu-Tongestein und Einfluss von Huminstoffen;
- Speziationsuntersuchungen in den Systemen Np/Pu-Tongestein mit XANES und EXAFS und in dem System Tongestein-Huminstoff mit XPS;
- Diffusionsexperimente mit Np(V) in natürlichem Tongestein und Einfluss von Huminstoffen;
- analytisch apparative Entwicklung, u. a. Kopplung CE-ICP-MS, CE-DAD und CE-RIMS.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die apparativen Entwicklungen zur Steigerung der Empfindlichkeit der CE-ICP-MS für die Speziation von Pu wurden zu Ende geführt. Durch zahlreiche Veränderungen konnte die Nachweisgrenze (NWG) um zwei Größenordnungen gesenkt werden, wie in Versuchen mit Lanthaniden, die als chemische Analoga für die Actiniden dienen, gezeigt werden konnte; die NWG liegt jetzt bei 50 ppt (3×10^{-10} mol/l). Inwieweit die CE den Oxidationszustand von Pu

beeinflusst, wurde mit einer reinen Pu(III) Lösung mit CE-ICP-MS als Funktion der Zeit studiert. Diese Untersuchung zeigte, dass Pu(III) bis zu 40 min in dem Elektrolytssystem der CE (1 mol/l Essigsäure, pH 2,3) stabil ist. Danach erfolgt eine Oxidation von Pu(III) über Pu(IV) bis zu Pu(VI). Weiterhin wurde beobachtet, dass bei der CE bis zu 50 % des eingesetzten Pu(IV) an den Kapillarwänden (fused silica) sorbiert werden. Dieser Memory-Effekt, der unter der NWG des ICP-MS liegt, konnte erst mit der empfindlicheren Kopplung CE-RIMS nachgewiesen werden.

Die pH-Abhängigkeit der Sorption von 8×10^{-6} und 7×10^{-12} mol/l Np(V) an Opalinuston (OPA) wurde in mit Calcit gesättigten Lösungen unter aeroben Bedingungen untersucht. Das Maximum der Sorption wurde bei pH 8,3 gefunden. Bei diesem pH-Wert ist der K_d -Wert in dem Konzentrationsbereich von 10^{-11} bis 10^{-7} mol/l Np(V) konstant und beträgt $1,4 \text{ m}^3/\text{kg}$. Mit steigender Np Konzentration sinkt der K_d -Wert und beträgt $0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$ bei 10^{-5} mol/l Np(V). Weiterhin wurde die Sorption von Np(V) an OPA bei pH 10 in An- und Abwesenheit von atmosphärischem CO_2 in 0,1 mol/l NaClO_4 , synthetischem Porenwasser und in mit Calcit gesättigter Lösung studiert. Bei $p(\text{CO}_2) = 10^{-3,5}$ bar hat neben dem CO_3^{2-} auch das Medium selbst einen großen Einfluss auf die Sorption von Np(V): keine Sorption in 0,1 mol/l NaClO_4 , 35 % Sorption in Porenwasser und 60 % in Calcitlösung.

Die Bestimmung des K_d -Werts für die Sorption von 8×10^{-9} Th(IV) an OPA in synthetischem Porenwasser (pH = 7,6) wurde unter aeroben Bedingungen wiederholt und ein K_d -Wert von $56 \text{ m}^3/\text{kg}$ erhalten.

Im Februar 2008 wurde am Institut für Nukleare Entsorgung, Forschungszentrum Karlsruhe, ein OPA-Bohrkern in die nach den technischen Angaben des Paul Scherrer Instituts (PSI) gefertigte Diffusionszelle eingesetzt und mit der Vorkonditionierung sowie Charakterisierung der Zelle begonnen. Bisher wurden in den Diffusionsversuchen mit HTO und $^{22}\text{Na}^+$ folgende Parameter ermittelt, die gut mit den am PSI erhaltenen Werten übereinstimmen:

HTO: $D_e = 1,53 \pm 0,10 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ und $\alpha = 0,11 \pm 0,02$

$^{22}\text{Na}^+$: $D_e = 2,03 \pm 0,07 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ und $\alpha = 0,61 \pm 0,11$.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Untersuchung der Redoxstabilität von verschiedenen Wertigkeitsstufen des Plutoniums in aeroben und anaeroben Porenwasser mit Hilfe der CE-ICP-MS
- Batchexperimente zur Sorption von Pu an OPA unter anaeroben Bedingungen und Bestimmung der Pu Speziation in den Lösungen mit Hilfe der CE-RIMS
- Batchexperimente zur Sorption von Np(V) an OPA in Porenwasser unter anaeroben Bedingungen
- Diffusionsversuche von $^{237}\text{Np(V)}$ in OPA und Aufbau von zwei weiteren Diffusionszellen für Experimente mit OPA-Bohrkernen unter anaeroben Bedingungen
- EXAFS-Messungen zur Speziation von Np(V) bei der Sorption an OPA als Funktion des pH-Wertes in An- und Abwesenheit von Luft

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 10176
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Beiträge zur Modellierung des Actinidentransports in potentiellen Wirtsgesteinsformationen; Teilthema 1: Mobilitätsbestimmende Elementarprozess; Teilthema 2: Einfluss heterogener Strukturen auf den Lösungs-Kolloidtransport		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 31.12.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 836.371,00 EUR	Projektleiter: Dr. Lippold	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zielsetzung des ersten Teilvorhabens besteht in der Bereitstellung von Bewertungsgrundlagen zum Einfluss organischer Kolloide auf die Migration von Actiniden in Tongestein. Dazu wird die Ko-adsorption an Tonmineralien und an natürlichem, organikhaltigem Ton in Abhängigkeit von geochemischen Parametern untersucht und modelliert. Mit Hilfe von Radiotracermethoden sollen die Voraussetzungen für eine Rekonstruktion ternärer Systeme anhand von Gleichgewichtsdaten binärer Systeme im Einzelnen geprüft werden.

Ziel des zweiten Teilvorhabens ist die tomographische räumliche und zeitliche Erfassung von Konzentrationsverteilungen während des Transports von Lösungen und Kolloiden in Modellprobekörpern und Bohrkernen aus Ton, Tongestein und Kristallingestein, um realistische Transportparameter und Kalibrierdaten für die Entwicklung verbesserter Prognosemodelle zur Sicherheit nuklearer Endlager zu schaffen.

Das Projekt ist Bestandteil des Verbundvorhabens „Wechselwirkung und Transport von Actiniden im natürlichen Tongestein unter Berücksichtigung von Huminstoffen und Tonorganika“.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1.1: Untersuchung und Modellierung der Wechselwirkungen in ternären und binären Systemen aus radiotoxischen Schwermetallen, Huminstoffen und Tonen bzw. Tonmineralien in Abhängigkeit von pH-Wert und Elektrolytgehalt
- AP1.2: Stabilität gelöster und oberflächengebundener Humatkomplexe; Einfluss höherwertiger Metalle auf das Adsorptionsverhalten von Huminstoffen
- AP1.3: Zeitabhängigkeit des Konkurrenzeffektes von Al(III) bezüglich der Humatkomplexbildung radiotoxischer Schwermetalle
- AP1.4: Reversibilität der Adsorption von Huminstoffen; Adsorptionsverhalten von Metallhumaten an huminstoffgesättigten Oberflächen
- AP2.1: Lokaler Lösungstransport in homogenisierten Tonproben in Abhängigkeit von Dichte, Sättigung und geochemischen Parametern
- AP2.2: Lokaler Lösungstransport in Bohrkernen mit realer Struktur
- AP2.3: Lokaler Kolloidtransport analog zu AP2.1 und 2.2

- AP2.4: Autoradiographische Untersuchung von Adsorbatverteilungen in Relation zum Oberflächenpotential
 AP2.5: Lokaler Kolloidtransport in Granitspalten
 AP2.6: Matrixdiffusion in Granit

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Zusammenhang mit derzeit laufenden Untersuchungen zur Zeitabhängigkeit des Konkurrenzeffektes höherwertiger Metalle bezüglich der Huminstoff-Komplexbildung von Actiniden-Analoga wurde die Wechselwirkung von Fe(III) und Al(III) mit Huminsäure potentiometrisch über längere Zeiträume verfolgt. Im Gegensatz zu Fe(III), wo Hydrolysespezies in polymerer Form gebunden und nur langsam auf Bindungsplätze verteilt werden, wurden für Al(III) keine Hinweise auf eine solche Metastabilität gefunden, d. h. der Abbau polynuklearer Spezies erfolgt hier unmittelbar oder bleibt völlig aus.

Die Beeinflussung des Adsorptionsverhaltens von Huminstoff an Tonmaterialien in Gegenwart von Al(III) wurde konzentrationsabhängig mittels ^{14}C -Markierung untersucht.

Die Messungen zum Transport im Kaolinit-Modellkörper und im Grimsel-Granit aus dem FEBEX-Experiment wurden weitgehend abgeschlossen. Als Voraussetzung für die qualitative Rekonstruktion der Tracerverteilung wurde ein Algorithmus zur Schwächungskorrektur der Photonenstrahlung entwickelt. Die Skalierung der Messdaten erfolgt nach dem derzeit mit geringer Verspätung erfolgenden Vollausbau des MiniPET und der damit verbundenen Software-Aktualisierung. Die zu erwartende Erhöhung der Effektivität hat geringeres Rauschen und eine höhere Empfindlichkeit zur Folge. Dies ermöglicht insbesondere eine längere Nutzung der Tracer in Langzeitexperimenten.

Einfache Methoden zur Ableitung der Transportparameterverteilung für Block- oder Kanalmodelle wurden entwickelt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Radiotraceruntersuchungen zur Komplexbildung von [^{160}Tb]Tb(III) in unterschiedlich gealterten Al(III)-Huminstoff-Systemen
- Laserfluoreszenzexperimente an unterschiedlich gealterten Al(III)-Huminstoff-Systemen zur Aufklärung zeitabhängiger Konkurrenzeffekte (in Zusammenarbeit mit der Univ. Potsdam)
- Radiotraceruntersuchungen zur Stabilität oberflächengebundener Metall-Huminstoff-Komplexe im Vergleich zum gelösten Zustand
- Untersuchung des Lösungstransportes und des Kolloidtransportes in homogenisierten Presskörpern aus Opalinuston
- Berechnung von 3D-Transportparametern aus den räumlich-zeitlichen Konzentrationsverteilungen
- Verbesserung der Quantifizierung (in Zusammenarbeit mit dem Weierstraß-Institut, Berlin)

5. Berichte, Veröffentlichungen

J. Kulenkampff, M. Gründig, M. Richter, F. Enzmann: Evaluation of Positron-Emission-Tomography for visualisation of migration processes in geomaterials. Physics and Chemistry of the Earth (angenommen)

J. Kulenkampff, M. Gründig, M. Richter, M. Wolf, O. Dietzel: First applications of a small-animal-PET scanner for process monitoring in rocks and soils. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-00000, 2008

J. Kulenkampff, M. Gründig, M. Richter, M. Wolf, J. Lippmann-Pipke: Direct transport process observation in geomaterials: High potential for the GeoPET-method. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-00000, 2008

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München		Förderkennzeichen: 02 E 10186
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Quantenmechanische Modellierung von Aktinoidenkomplexen: Komplexierung durch Huminstoffe und Sorption an Tonmineralien		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 31.12.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 538.240,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Rösch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

- Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Aktinoidenspezies durch Huminstoffe.
- Quantenmechanische Modellierung der Sorption von Aktinoidenspezies an Tonmineraloberflächen.
- Weiterentwicklung von Solvatationsmodellen.

Bezug zu anderen Vorhaben:

Teilprojekt im Verbund „Actinidenmigration im natürlichen Tongestein“.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst folgende Arbeitspakete:

AP1: Komplexierung durch Huminstoffe

Im AP1 werden computerchemische Untersuchungen zur Komplexierung von Aktinoiden durch Carboxyl- und alternative Funktionalitäten von Huminstoffen anhand von Modellen durchgeführt sowie Solvatationsmodelle entwickelt und angewandt.

AP2: Sorption an Tonmineralien

Das AP2 umfasst quantenmechanische Berechnungen periodischer Modelle von Tonmineralien sowie computerchemische Untersuchungen zur Adsorption von Aktinoidenspezies auf Tonmineraloberflächen mit Hilfe dieser Modelle.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1.1: Ternäre Komplexe
 AP1.2: Uranyl-Bicarboxylate
 AP1.3: Uranylkomplexe mit N-Donorliganden
 AP1.4: Ac(IV)-Carboxylate
 AP2.2, 2.3, 2.5: Kaolinit: Oberflächen und Sorption.

Die zur Gewinnung von Referenzdaten für ternäre Uranylkomplexe (AP1.1) durchgeführte Untersuchung von Uranyl-Monohydroxid wurde abgeschlossen. Rechnungen zu Bicarboxylaten (AP1.2) wer-

den derzeit durch die Untersuchung von Uranyltriacetat ergänzt, um experimentellen Hinweisen nach der Existenz einer Spezies mit zwei bidentat und einem monodentat koordinierten Liganden nachzugehen.

Neu aufgenommen wurden Arbeiten zur Uranyl-Komplexierung durch Aminosäuregruppen (AP1.3). In einer Bachelorarbeit wurden Uranylkomplexe mit bidentater und Chelat-Koordination eines Aminosäureliganden (Glycin, Alanin, α -Aminoisobutyrsäure) untersucht, wobei Solvationseffekte näher betrachtet wurden. Die Säuren bevorzugten eine bidentate Koordination des Uranyls, während die Carboxylate Chelatkomplexe bilden. Die Arbeiten werden derzeit unter genauer Berücksichtigung von Solvationseffekten weitergeführt und auf Anthranilsäure ausgedehnt, die auch von den Projektpartnern in Rossendorf untersucht wird.

Als Vorbereitung zur Berechnung von U(IV)-Carboxylaten (AP1.5) wurde der U^{4+} -Aqua-Komplex untersucht. Während eine frühere theoretische Arbeit eine Koordinationszahl von 9 vorhersagt, konnte durch genauere Rechnungen gezeigt werden, dass Isomere mit 9 oder 10 Aqualiganden energetisch gleichwertig sind. Koordinationszahl und U-O Bindungslängen stimmen mit dem Experiment überein. Derzeit werden diese Arbeiten auf UOH^{3+} ausgedehnt.

Arbeiten zur Modellierung der Sorption von Uranyl an Kaolinit wurden mit der Untersuchung der (010)-Kantenflächen von Kaolinit fortgeführt. (AP2.2, 2.3, 2.5). Da die Struktur von Kaolinit-Kantenflächen nicht bekannt ist, wurden verschiedene Terminierungen mittels eines empirischen Modells verglichen und zwei bevorzugte Modelle in den Rechnungen zur Struktur, Solvatisierung und Uranyladsorption verwendet. In Analogie zu den bereits studierten basalen (001)-Oberflächen wurden bevorzugt bidentate Uranylkomplexe modelliert. Es konnte eine leichte Präferenz für Aluminol- gegenüber Silanolgruppen als Adsorptionsplatz festgestellt werden. Die Deprotonierung einzelner Aqua-Liganden des Uranyls deutet auf die hohe Reaktivität der Kantenflächen hin. Die Solvatisierung der (010)-Kantenflächen durch eine explizit modellierte Monolage von Wassermolekülen verändert die Struktur der Oberflächen. Während Silanolgruppen deprotonieren, entstehen $AlOH_2^+$ -Spezies, die auf der reinen Kantenfläche nicht stabil sind. Oberflächenmodelle ohne explizite Solvatisierung ergeben ähnliche Bindungsenergien für Uranyl auf basalen und Kantenflächen, aber Modelle mit einer Monolage Wasser liefern eine Stabilisierung der Komplexe an den Kantenflächen um 10 bis 45 kcal/mol und damit eine bevorzugte bidentate Adsorption an den Kantenflächen. Ein Vergleich mit experimentell ermittelten Geometriedaten unterstützt die Interpretation als bidentat koordinierte innersphärische Komplexe.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1.2: Uranyltricarboxylat.

AP1.3: Fortführung der Arbeiten zu Uranyl-Komplexierung durch Aminosäuregruppen.

AP1.5 Untersuchung von U(IV)-Spezies.

AP2.3, 2.5: Abschluss der Untersuchung der Uranyladsorption auf Kantenflächen von Kaolinit.

5. Berichte, Veröffentlichungen

A. Kremleva, S. Krüger, N. Rösch: Density Functional Model Studies on Uranyl Adsorption on (001) Surfaces of Kaolinite, *Langmuir*, 2008, im Druck.

C.-C. Chiu: Density Functional Studies on Uranyl Complexation by Amino Acids, Bachelorarbeit, TU München, 2008.

A. Matveev, N. Rösch: Atomic Approximation to the Projection on Electronic States in the Douglas-Kroll-Hess Approach to the Relativistic Kohn-Sham-Method, *Journal of Chemical Physics* 128 (2008) 244102.

Zuwendungsempfänger: Universität des Saarlandes, Campus Saarbrücken, 66123 Saarbrücken		Förderkennzeichen: 02 E 10196
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Untersuchungen zur Migration von Lanthaniden und Uran in natürlichen Tonformationen im Übergang von verdünnten Mineral-Suspensionen zu kompakten Tonen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 31.12.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 502.243,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Beck	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Innerhalb des Forschungsprojektes wird der Einfluss verschiedener geochemischer Parameter (beispielsweise Metallfrachten, pH, Konkurrenzionen oder organische Komplexligenanden) auf die Migration von Actiniden (Uran) sowie Lanthaniden (Europium, Terbium und Gadolinium) als deren Vertreter im natürlichen Tongestein untersucht. Die dabei erhaltenen Ergebnisse zur Sorption bzw. Desorption der untersuchten Metalle an natürlichem Tongestein (Opalinuston) werden mit den aus Vorgängerprojekten erhaltenen Daten für das Modellmineral Kaolinit verglichen. Im zweiten Projektabschnitt wird mit Hilfe von Säulenversuchen auf Basis einer Miniaturisierung in Analogie zur Flüssigchromatographie das Ausbreitungsverhalten der untersuchten Lanthaniden und Radionukliden in Gegenwart verschiedener Modell-Organika sowie Huminsäure unter Variation geochemischer Einflussgrößen in kompaktem Tonstein untersucht.

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 FZD; 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: Auswahl und Charakterisierung eines natürlichen Tongesteins
- AP2: Batch-Versuche zur Bestimmung der Einflüsse geochemischer Parameter auf die Sorption von Lanthaniden und Radionukliden (Eu, Gd bzw. Tb und U) in natürlichen Tonformationen inklusive der darin enthaltenen Organika
- AP3: Batch-Versuche zur Untersuchung der Einflüsse von organischen Modellstoffen und natürlich vorkommenden tonorganischen Stoffen auf die Metall-Desorption bei natürlichem Tongestein
- AP4: Aufbau und Optimierung eines miniaturisierten Säulenversuchs und Vergleich der Ergebnisse des Säulenversuchs mit denen aus Batch- und Diffusions-Versuchen. Bestimmung wichtiger Parameter auf das Migrationsverhalten der Metalle im nativen Tongestein
- AP5: Aufklärung der räumlichen Verteilung (Porenstruktur, Kanalbildung) sowie des Ausbreitungsverhaltens der Schwermetalle und Tonorganika unter dem Einfluss von grundwasserrelevanten Parametern durch eine orts aufgelöste Analytik der Tonsäulen
- AP6: Bereitstellung und Implementierung des erfolgreich getesteten und optimierten Säulenversuchs für alle in Frage kommenden Projektpartner als konkretes Instrumentarium zum Test mit den jeweiligen Radionukliden.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden die Batch-Versuche im binären System Metall/Opalinuston fortgeführt und Untersuchungen im ternären System Metall/Opalinuston/Huminsäure begonnen.

Die Sorptionsversuche von Lanthaniden (Eu, Gd, Tb) im ternären System wurden ähnlich denen im binären System bei den pH-Werten 7,6 und 5 durchgeführt. Neben den unterschiedlich gewählten pH-Werten wurde zusätzlich noch die Konzentration an Huminsäure variiert (10 und 25 ppm). Die Sorptionsexperimente im binären sowie im ternären System wurden mit Hilfe von mehreren Sorptionsmodellen ausgewertet und verglichen. Mit Hilfe des linearen Sorptionsmodells wurde die maximale Sorptionskapazität des Opalinustons für die drei untersuchten Lanthanide bestimmt. Bei pH 5 konnten sowohl für NaClO₄ als auch synthetisches Porenwasser Sorptionsmaxima erzielt werden, welche mit der Konzentration an Huminsäure anstiegen. Überraschenderweise wird bei pH 5 und einer Huminsäure-Konzentration von 25 ppm eine höhere Konzentration an Lanthanid sorbiert als die Kationenaustauschkapazität der Huminsäure erwarten lässt. Bei pH 7,6 konnte eine um etwa 10-fach höhere Sorption nachgewiesen werden als bei den Experimenten bei pH 5. Diese kommt wahrscheinlich auf Grund der Lanthanid-Ausfällung durch das in den Lösungen vorliegende Carbonat zu Stande.

Eine Auswertung mit Hilfe des Freundlich Sorptionsmodells ermöglicht einen guten Einblick in die ablaufenden Prozesse bei sehr niedrigen Lanthanid-Konzentrationen. In den Versuchen mit Huminsäure in 10 mM NaClO₄-Lösung sind bei niedrigen Lanthanid-Konzentrationen mehr Lanthanidionen frei als in den Versuchen ohne Huminsäure, da sie als negative Metallhumat-Komplexe in Lösung vorliegen. Erst ab einer Lanthanid-Konzentration zwischen 1 und 10 ppm sind genug Metallionen vorhanden, um die Humat-Komplexe auszufällen, so dass die Konzentration der freien Lanthanide in den Versuchen mit Huminsäure deutlich unterhalb der Konzentrationen in den Versuchen ohne Huminsäure sinkt. Bei den Experimenten in synthetischem Porenwasser tritt dieser Konzentrationswechsel bei wesentlich geringeren Lanthanid-Konzentrationen auf, da die zweiwertigen Erdalkalitionen (Mg²⁺, Ca²⁺) des Porenwassers zur Neutralisierung der Huminsäure einen großen Beitrag leisten.

Unter zur Hilfenahme des Langmuir-Modells kann über die Geradengleichung und der daraus resultierenden Steigung die maximale Sorption der Lanthanide berechnet werden. Die Auswertung bei pH 5 liefert vergleichbare Ergebnisse wie die Auswertung mit dem linearen Sorptionsmodell. Leider fällt die Auswertung bei pH 7,6 sehr schwer, da die Lanthanid-Ausfällung durch das in der Lösung enthaltene Carbonat nicht reproduzierbare Ergebnisse liefert.

Neben den Sorptionsuntersuchungen wurden auch pH-Abhängigkeiten des ternären Systems untersucht und mit denen des binären Systems verglichen. Zudem wurde mit Experimenten im ternären System begonnen, bei denen die Opalinuston-Proben neben dem Porenwasser bzw. dem NaClO₄ auch mit Huminsäure (10 und 25 ppm) vorkonditioniert wurden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die nächsten Schritte der Forschungsarbeiten werden Desorptionsexperimente im ternären System sein. Hier liegt das Augenmerk auch auf den unterschiedlichen Arbeitsschritten, einmal mit Huminsäure und einmal ohne Huminsäure zu desorbieren. Zudem wurde eine Glovebox angeschafft, welche es ermöglicht unter Luftausschluss die Sorptionsexperimente bei pH 7,6 zu wiederholen, wobei das Kohlendioxid aus der Luft keinen Einfluss auf die Sorption haben sollte. Weiterhin werden zusätzlich Sorptions- bzw. Desorptions-Untersuchungen mit Uran durchgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Kautenburger R. & H.P. Beck (2008): Waste disposal in clay formations: Influence of humic acid on the migration of heavy metal pollutants. ChemSusChem (Chemistry & Sustainability, Energy & Materials) 1, 295-297.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 E 10206
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Einfluss von tonorganischen Substanzen auf die Rückhaltung von Actiniden in der Tonbarriere		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 31.12.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 813.235,00 EUR	Projektleiter: Dr. Marquardt	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Untersucht wird das Migrationsverhalten von Actiniden in der natürlichen Tonbarriere. Hierbei sollen die relevanten Prozesse auf molekularer Ebene aufgeklärt und verstanden werden. Neben der eingehenden Charakterisierung von Tonmineralien und der darin enthaltenen Tonorganika werden deren Wechselwirkungen mit Actinidionen untersucht. Notwendige Grundlagenuntersuchungen werden parallel durchgeführt, hinsichtlich Komplexierung der Actiniden mit Tonorganika und Huminstoffen. Das natürliche tonorganische System wird aus reinen Komponenten nachgebaut um ihre Entstehung, ihre Eigenschaften sowie ihren Einfluss auf die Actinidenmigration nachvollziehen zu können.

Zusammenarbeiten laufen mit dem Forschungszentrum Dresden, der Universität Mainz, Potsdam, Heidelberg, Universität des Saarlandes, IIF Leipzig sowie der TU München. Außerdem werden Zuarbeiten von der TU Graz, Inst. für Analytische Chemie und Radiochemie geleistet.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Charakterisierung relevanter Tongesteinsproben. Hierzu gehören die Aufklärung der räumlichen Verteilung chemisch/mineralogischer Phasen sowie die über geologische Zeiträume entstandene Verteilung natürlicher Actiniden und deren Analoga. Hieraus ergeben sich Erkenntnisse über die vernetzte Porosität des Tongesteins und potentieller Transportwege.
- AP2: Diffusionsuntersuchungen von Actiniden und Analoga. Als stationäre Phase werden Tongestein aus Mt. Terri (Opalinuston) untersucht. Als mobile Phase dient ein synthetisches Porenwasser.
- AP3: Speziation der Actiniden in der mobilen Phase. Zu diesem Zweck werden spektroskopische Methoden eingesetzt, insbesondere TRLFS und LIBD sowie konventionelle Methoden (z. B. Extraktion und Kapillarelektrophorese).
- AP4: Speziation der Actiniden im Ton. Bestimmt wird die räumliche Verteilung der Actiniden in der Tonmatrix nach Diffusionsversuchen. Es wird versucht eine Trennung und Speziation in verschiedenen Ton-Phasen durchzuführen. Das Ganze wird begleitet von Grundlagenuntersuchungen zur Actiniden-Tonorganika / Humat-Komplexierung.
- AP5: Synthese des natürlichen Systems aus reinen Komponenten. Das natürliche System wird simuliert, indem organische Stoffe an gereinigten Tonmineralien mit verschiedenen Kationenaustausch-Belegungen polymerisiert werden, um die natürlichen Tonorganika mit ihren charakteristischen Eigenschaften und Bindungszuständen nachzubauen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Parallel zu den Arbeiten zum Komplexierungsverhalten von extrahiertem Kerogen wurde an zwei tonreichen Proben aus Tonschiefern des Autun (Perm, Lodève Becken; Frankreich) eine Uran- Speziation durchgeführt. Die Tongesteinsproben stammen aus einer natürlichen Uranlagerstätte, die organisches Material (Bitumen) aufweist und kann als mögliches natürliches Analog für die tiefengeologische Endlagerung von hochradioaktivem

Abfall in tonreichen Formationen (z. B. Opalinuston oder Callovo-Oxfordian Argillit) in Betracht gezogen werden. Methoden mit mikro- bis nanoskaliger Ortsauflösung (μ -XRF, μ -XAFS, STXM und μ -FTIR) wurden angewendet.

Bestimmt wurden die U-Oxidationsstufen und die Korrelation der Uranverteilung mit anderen Elementen des Tongesteins (K, Ca, Ti, Fe, Zr and C) und damit bezüglich des organischen Kohlenstoff und/oder der Mineralphasen (z. B. Eisenoxide/-hydroxide, Tonminerale). Die Tonfraktion dieser Proben besteht nach XRD Messungen im Wesentlichen aus Chlorit und Illit. Unsere Untersuchungen mittels μ -XRF und μ -XAFS wurden mit konfokaler Geometrie gemessen. Die Elementverteilungen zeigen, dass die Uranverteilung invers zu Bereichen hoher Eisengehalte und positiv zu der Verteilung leichterer Elemente korreliert. U L3 μ -XAFS Messungen in Bereichen hoher Uran-Konzentration zeigen weiterhin, dass in diesen "hot spots" Uran als U(IV) vorliegt, sehr wahrscheinlich als nanokristallines Uraninit (UO_2). Weiterhin wurde die Uranverteilung an der Oberfläche der Probe mit $\sim 25 \text{ mg } ^{238}\text{U/g}$ an der INE Beamline für Aktinidenforschung unter Verwendung von Polykapillarlinsen zur Strahlfokussierung untersucht. In einem ersten Testexperiment konnte die Uranverteilung in einem Bereich von $2 \times 1 \text{ mm}^2$ aufgenommen werden. μ -XANES Messungen im Bereich der U "hot spots" bestätigten die Dominanz von tetravalentem Uran. STXM-Messungen an den Kohlenstoff-K-Kanten und den Kalium-K-Kanten sowie Eisen-L-Kanten an Mikrotomschnitten – in Schwefel eingebettet – zeigten eine positive Korrelation der organischen Substanz mit Kalium, aber eine negative C_{org}/Fe -Korrelation. Zusätzliche μ -FTIR Messungen konnten die direkte Assoziation von organischer Substanz mit Tonmineralien nachweisen. Zusammenfassend zeigen diese hoch-ortsaufgelösten Untersuchungen eine direkte Assoziation des Urans mit Organik/Tonmineral-Aggregaten und bestätigen somit die Hypothese, dass die organische Substanz und nicht die Eisenphasen als Redoxpartner für die Uranreduktion und damit verbundenen Immobilisierung in diesen Sedimenten verantwortlich ist.

Um das Redoxverhalten von Aktiniden in huminstoffhaltigen Lösungen zu verstehen, wurde die Wechselwirkung von Hydrochinonen und Huminstoffen mit Plutonium und Neptunium untersucht. Innerhalb dieser Versuchsreihe sollte unter anderem geklärt werden, ob die Kolloid-Bildung einen Einfluss auf die Reaktion hat bzw. ob die Reaktionen mittels Gleichgewichts-Thermodynamik beschrieben werden können. Die Experimente wurden mit Hydrochinon (HQ), 9,10-Anthraquinone-2,6-disulfonsäure (AH2DS) und Fulvinsäure (FA) durchgeführt. In den Experimenten zeigte sich, dass Pu(V) and (VI) in wässrigen Lösungen von HQ, AH2DS oder FA nicht stabil sind und innerhalb von 20 Tagen reduziert wurden. In den pH-Bereichen pH 3 - 7 für FA und pH 5 - 7 für HQ und AH2DS (relevant für natürliche Aquifers) ist Pu(IV) die dominierende Oxidationsstufe. Allerdings wird auch eine teilweise Reduktion zu Pu(III) in diesem pH-Bereich beobachtet. Im Falle des Np wird Np(V) zu Np(IV) reduziert in AH2DS- und FA-Lösungen, aber nicht in HQ-Lösungen. Parallel zu der Speziation wurden die Eh-Werte der Lösungen gemessen und die gemessenen Werte mit berechneten Eh-Werten, basierend auf thermodynamischen Gleichgewichts-Thermodynamik, verglichen. Es wurde dabei angenommen, dass die gelösten Pu- und Np-Spezies mit kolloidalen $\text{Pu}(\text{OH})_4$ und $\text{Np}(\text{OH})_4$, im Gleichgewicht stehen. Im Prinzip stimmen die experimentellen Speziesverteilungen und Eh-Werte mit den theoretischen Speziesverteilungen überein. Im Detail sieht man aber auch, dass die Wechselwirkung mit den organischen Inhaltstoffen, speziell der Kolloide, die Speziesverteilung beeinflusst.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortsetzung der Untersuchungen zum Actiniden-Komplexierungsverhalten von extrahierten OPA-Kerogen und synthetischen Ton-Organika-Assoziaten.
- Diffusionsexperimente mit Neptunium werden nach anfänglichen Schwierigkeiten fortgeführt.
- Grundlagenuntersuchungen zur Redoxchemie und Komplexierung von Neptunium und Plutonium mit Hydrochinonen und Huminstoffen werden fortgeführt.
- Organisation des 5. Projekt-Workshops mit eingeladenen Gästen aus Großbritannien, Belgien, Frankreich und der Schweiz am 7./8. Oktober 2008.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam		Förderkennzeichen: 02 E 10216
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Spektroskopische Untersuchungen zum erweiterten Prozessverständnis in binären und ternären Huminstoff-Tongestein - Lanthanoid Systemen: Thermodynamische und kinetische Kenngrößen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 31.12.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 275.839,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kumke	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im beantragten Forschungsvorhaben werden laserbasierte spektroskopische Methoden zur Untersuchung der Wechselwirkungen in ternären Systemen (weiter)entwickelt. Damit wird das Prozessverständnis in ternären Systemen auf molekularer Ebene erweitert und verbessert. Aus den experimentellen Arbeiten werden dann neue bzw. verbesserte thermodynamische und kinetische Kenngrößen zur Beschreibung der ternären Systeme ableitbar, die die Basis für ein umfassenderes Verständnis der molekularen Prozesse darstellen. Langzeitsicherheitsanalysen und Risikobewertungen von Endlagerstätten oder geologischen Barrieren werden durch das grundlegende Prozessverständnis so verlässlicher zu gestalten sein.

Das Projekt 02E10216 ist Teil des Verbundes „Wechselwirkung und Transport von Actiniden im natürlichen Tongestein unter Berücksichtigung von Huminstoffen und Tonorganika“. Thematisch eng verknüpft ist das Forschungsvorhaben mit den Teilvorhaben des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf (AP1, AP2), des Instituts für Nukleare Entsorgung des FZK (AP1, AP2), der TU München (AP1) sowie des Instituts für Interdisziplinäre Isotopenforschung Leipzig (AP5).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Interlanthanoid-Energietransfer in binären und ternären Systemen

AP2: Laser-Flash-Untersuchungen der Triplet-Zustände in binären und ternären Systemen

AP3: Anisotropie von Huminstoffen in binären und ternären Systemen

AP4: Kinetik der Sorption in binären und ternären Systemen (stopped-flow und Temperatursprung-Experiment)

AP5: Konkurrenz-Reaktionen der Wechselwirkungen zwischen Ln(III) und anderen Metallionen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Neben Salicyl- und Glykolsäure wurden weitere aliphatische und aromatische Modellliganden in Eu(III)-Komplexen mittels zeitaufgelöster laser-induzierter Fluoreszenz (LIF) hinsichtlich ihres Energietransferverhaltens untersucht. Dabei wurde die zur Carboxylgruppe benachbarte Hydroxygruppe systematisch in ihrer Position variiert. Der Einfluss der Temperatur auf die beobachteten Lumineszenzmessungen wurde charakterisiert. Die Arbeiten zum Einbau von Lanthanoid-Ionen in Kolloide sowie deren spektroskopischer Charakterisierung wurden begonnen. Neben Kaolinit- und Montmorillonit-basierten Kolloiden werden auch Eisenkolloide in die Untersuchungen einbezogen.
- AP2: Die Arbeiten zur Untersuchung der transienten Absorption von Modellliganden in An- und Abwesenheit von Eu(III) werden weitergeführt.
- AP3: Erste Experimente zur Fluoreszenzanisotropie von Huminstoffen in An- und Abwesenheit von Lanthanoiden wurden durchgeführt.
- AP4: In stopped-flow Untersuchungen von Modellpolymeren und Huminstoffen verschiedener Ursprungsorte wurde der Effekt der Metallkomplexierung auf die Konformation dieser Makromoleküle untersucht. Dabei galt dem Vergleich von Humin- und Fulvinsäuren und den hier beobachteten Unterschieden in der Kinetik das besondere Augenmerk.
- AP5: Die Experimente, in denen der Einfluss von konkurrierenden Metallionen (z. B. X = Mg(II), Ca(II) und Cu(II)) wurden fortgesetzt. Mit Hilfe der TRES wurde die Konkurrenz zwischen Eu(III)- und X-Ionen qualitativ und quantitativ untersucht.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die geplanten Weiterarbeiten folgen dem Ablaufplan des Antrags. Folgende experimentelle Schritte sind für die nahe Zukunft geplant:

- AP1: Fortführung der Untersuchungen von Modellliganden und Modellpolymeren mittels TRES mit Eu(III) und Tb(III) als Lumineszenzsonden. Die Untersuchungen werden dabei verstärkt auf heterogene Systeme ausgedehnt.
- AP2: Weiterführende Messungen von Triplett-Zuständen an Modellliganden und Polymeren werden durchgeführt. Zur Steigerung der Empfindlichkeit werden die Messungen mit gepulster Detektion ausgeführt.
- AP3: Aus den Rotationskorrelationszeiten der zeitaufgelösten Fluoreszenzanisotropie-Messungen an Modellpolymeren und HS vor und nach Metallkomplexierung wird der Effekt auf deren Konformation bestimmt.
- AP4: Fortsetzung von stopped-flow Untersuchungen an HA und FA verschiedener Ursprungsorte. Durch die Analyse der Kinetik der Metallkomplexierung – gemessen als Löschung der intrinsischen Huminstofffluoreszenz – wird versucht, eine mögliche Assoziations- und Reorganisationskinetik qualitativ und quantitativ zu beschreiben.
- AP5: Die Arbeiten zur Metall-Konkurrenz bei der Komplexierung durch HS werden fortgesetzt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Folgende Manuskripte liegen als Rohfassung vor:

Stefanie Kuke, Bettina Marmodée, Michael U. Kumke: Luminescence properties of europium complexes revisited – time-resolved emission spectroscopy of complexes with salicylic and glycolic acid in H₂O and D₂O. Manuskript in Vorbereitung.

Bettina Marmodée, Joost de Klerk, Freek Ariese, Michael U. Kumke: Site-selective time-resolved excitation spectroscopy of Eu(III) complexes. Manuskript in Vorbereitung.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10226	
Vorhabensbezeichnung: Gasmigration im Opalinus Ton in Abhängigkeit vom Gasinjektionsdruck (unterhalb des Fracdruckes) Kurztitel: HG-C			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse			
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2008		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 562.553,00 EUR		Projektleiter: Dr. Jockwer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Opalinus-Ton des Mont Terri soll in Abhängigkeit vom Gasdruck für unterschiedliche Gase die Migration ermittelt werden. Es soll damit in Abhängigkeit vom Injektionsdruck erfasst werden, ob verschiedene Gaskomponenten mit unterschiedlichem Molekulargewicht und unterschiedlicher Löslichkeit im Wasser ein unterschiedliches Migrationsverhalten haben.

Dicht verschlossene Bohrungen parallel und senkrecht zur Schichtung werden mit einem Tracergasgemisch beaufschlagt. Der Injektionsdruck wird beginnend bei Atmosphärendruck stufenweise bis über den Formationswasserdruck (3 MPa) erhöht. Ist die jeweilige Druckstufe eingestellt, wird im Messvolumen der Druckverlauf aufgezeichnet. Die Beobachtungszeit jeder Druckstufe wird voraussichtlich zwei Monate dauern. Am Ende jeder Druckstufe werden die Komponenten des Tracergases in verschiedenen Messintervallen bestimmt.

Die Messtechnik ist in anderen Vorhaben bereits erprobt worden. Die Auswertung der Ergebnisse kann mit vorhandenen Verfahren durchgeführt werden. Die Daten sind für Auslegung von Endlagern in Tonformationen von Bedeutung.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Vorhaben untergliedert sich in:

- Injektion von Tracergasen unter Atmosphärendruck zur Bestimmung der Gasdiffusion
- Injektion von Tracergasen unterhalb des Formationswasserdruckes zur Bestimmung des Einphasenflusses im ungesättigten Porenraum
- Injektion von Tracergasen oberhalb des Formationswasserdruckes aber unterhalb des Fracdruckes zur Bestimmung des Zweiphasenflusses

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In je drei Intervallen von Bohrungen parallel und senkrecht zur Schichtung wurden die Drucke des Gaseintritts ins Gebirge, die Fließraten während des Gaseintritts und die Ausbreitung des Gases ins umliegende Gebirge ermittelt. Die Drucke des Gaseintritts lagen im Bereich zwischen 2,0 und 3,2 MPa. Nach einem bis sechs Monaten wurden die Intervalle erneut mit Gas beaufschlagt und die Drucke des Gaswiedereintritts ermittelt. Die Drucke lagen um 0,5 bis 1,0 MPa niedriger als beim Ersteintritt. Die Modellierungen der Gasmigration ergaben Gasdiffusionskonstanten vor dem Gaseintritt im Bereich von $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ und Gaspermeabilitäten im Bereich von 10^{-20} m^2 .

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine weiteren Arbeiten, das Vorhaben wurde abgeschlossen, der Abschlussbericht wurde erstellt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Jockwer, N., Wieczorek, K.: Gas Migration in the Opalinus Clay as a function of the gas pressure, Vortrag und Proceeding, WM2008 Conference, February 24-28, 2008 Phoenix, AZ (USA)

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10236	
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse			
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2006 bis 31.10.2009		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 197.000,00 EUR		Projektleiter: Wieczorek	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In dem Vorhaben werden Rechenmodelle mit thermisch, hydraulisch und mechanisch gekoppelten Stoffansätzen zur Beschreibung der Langzeitentwicklung der Auflockerungszone (Extension Disturbed Zone EDZ) um Hohlräume in Endlagern für radioaktive Abfälle im Salzgestein überprüft und auf Basis gezielter Laborversuche weiterentwickelt. Sofern in Auswertung der Laborversuche und Modellrechnungen notwendig, ist beabsichtigt, sicherheitlich relevante Eigenschaften und Prozesse in die PA-(Performance Assessment) Modelle zu übernehmen.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projektes THERESA von der Europäischen Union gefördert und vom Projektträger PTKA-WTE co-finanziert. Das oben genannte deutsche Verbundprojekt umfasst die Arbeiten der GRS, Bereich Endlagersicherheitsforschung in Braunschweig, der DBE Technology in Peine und des IfG Leipzig.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erstellung eines Fragen- bzw. Aufgabenkatalogs (Issue Evaluation Table – IET) für die zielorientierte Bewertung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit der vorhandenen Codes bzw. Modelle (wird von GRS und DBE Technology bearbeitet)
- AP2: Datensammlung zur Modellierung der Entwicklung und Rückbildung der EDZ sowie von hydraulisch-mechanischen Wechselwirkungen
- AP3: Modellkalibrierung und Integration der konstitutiven Modelle in die Rechencodes
- AP4: Benchmark-Laborversuch und Rechnungen mit dem modifizierten Stoffgesetz
- AP5: Durchführung von PA-Rechnungen unter Berücksichtigung der EDZ-Entwicklung (wird von GRS bearbeitet)
- AP6: Berichtserstellung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP3: Zur Bestimmung der Modellparameter wurden zwei weitere Schädigungs-Verheilungs-Versuche an Asse-Steinsalzproben durchgeführt. Dabei wurde die Gas-permeabilität unter unterschiedlichen Spannungen gemessen. Wie bei der Ende 2007 untersuchten Probe wurde eine deutliche Erhöhung der Permeabilität nicht unmittelbar nach Überschreiten der Dilatanzgrenze festgestellt, sondern erst nachdem eine gewisse Volumenzunahme erfolgt war. Ein erweitertes Perkolationsmodell ist in der Lage, dieses Verhalten zu beschreiben. Dieses wird in CODE_BRIGTH implementiert.

Bei einem Projekttreffen der Teilnehmer am Arbeitspaket Steinsalz im April 2008 in Braunschweig wurden die bisherigen Ergebnisse ausgetauscht und das weitere Vorgehen vereinbart. Die Modellkalibrierung soll bis Ende August abgeschlossen werden und das entsprechende Deliverable D6 im September 2008 erstellt werden. Die Gliederung des Deliverables wurde festgelegt.

AP4: Der Testplan zum Referenzversuch (Schädigungs-Verheilungs-Versuch) an einem Großsalzkern mit einem Zentralbohrloch wurde festgelegt. Der Versuch wird im vierten Quartal 2008 durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der Modellkalibrierung und Erstellung des Deliverables D6
- Durchführung des Benchmark-Versuchs mit begleitender Modellrechnung
- Kombiniertes TIMODAZ-THERESA-Workshop im Dezember 2008

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 10246
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2006 bis 31.10.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 74.878,00 EUR	Projektleiter: Lerch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In dem Vorhaben werden Rechenmodelle mit thermisch, hydraulisch und mechanisch gekoppelten Stoffansätzen zur Beschreibung der Langzeitentwicklung der Auflockerungszone (Extension Disturbed Zone EDZ) um Hohlräume in Endlagern für radioaktive Abfälle im Salzgestein überprüft und auf Basis gezielter Laborversuche weiterentwickelt. Sofern in Auswertung der Laborversuche und Modellrechnungen notwendig, ist beabsichtigt, sicherheitlich relevante Eigenschaften und Prozesse in die PA-(Performance Assessment) Modelle zu übernehmen.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projektes THERESA von der Europäischen Union gefördert und vom Projektträger PTKA-WTE co-finanziert. Das oben genannte deutsche Verbundprojekt umfasst die Arbeiten der GRS, Bereich Endlagersicherheitsforschung in Braunschweig, der DBE Technology in Peine und des IfG Leipzig.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erstellung eines Fragen- bzw. Aufgabenkatalogs (Issue Evaluation Table – IET) für die zielorientierte Bewertung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit der vorhandenen Codes bzw. Modelle (wird von GRS und DBE Technology bearbeitet)
- AP2: Datensammlung zur Modellierung der Entwicklung und Rückbildung der EDZ sowie von hydraulisch-mechanischen Wechselwirkungen
- AP3: Modellkalibrierung und Integration der konstitutiven Modelle in die Rechencodes
- AP4: Benchmark-Laborversuch und Rechnungen mit dem modifizierten Stoffgesetz
- AP5: Durchführung von PA-Rechnungen unter Berücksichtigung der EDZ-Entwicklung (wird von GRS bearbeitet)
- AP6: Berichterstellung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zu den Arbeitspaketen 1 und 2 wurden im Berichtszeitraum planmäßig keine Arbeiten durchgeführt.

AP3: Parallel zur Anwendung der Programme FLAC und FLAC3D, welches auf der Finite-Differenzen-Methode (FDM) basiert, wurde das nach der Discrete- bzw. Distinct-Element-Methode (DEM) arbeitende Programm PFC3D, eingesetzt. Berechnungen zur Simulation von Triax-Versuchen mit PFC3D wurden durchgeführt. Erste Ergebnisse im Bereich des Festigkeitsverhaltens der Triax-Versuche wurden erzielt und im Rahmen des Task Force Meetings des WP3, 15./16. 4.2008, in Braunschweig vorgestellt. Es zeigte sich, dass mit den zur Verfügung stehend Ressourcen eine weitergehende Anpassung der Mikroparameter der Kontaktstoffgesetze, insbesondere im Bereich des Kriechverhaltens nicht geleistet werden kann. Vor dem Hintergrund der Anwendung für eine Endlagerung im Salz muss zum jetzigen Zeitpunkt festgestellt werden, dass die Anwendung dieses Programms zwar einige Effekte im Zusammenhang mit der Modellierung einer EDZ prinzipiell realitätsnäher beschreiben kann als ein FEM- oder FDM-Programm, die unbefriedigende Beschreibung des elasto-viskoplastischen Materialverhaltens eines Salzes seinen Einsatz an dieser Stelle jedoch einschränkt. Die Implementierung modifizierter Stoffmodelle in das Berechnungsprogramm FLAC3D wurde abgeschlossen.

AP4: Die Implementierung der BMT-Simulation mit dem modifizierten Stoffmodell wurde vorangetrieben. Die Durchführung und Auswertung der Prognoseberechnungen ist für den anschließenden Berichtszeitraum vorgesehen.

Innerhalb des 6. EU-Rahmenprogramms wurden die Fragebögen *Wissenschaft und Gesellschaft*, *Statistik des Personaleinsatzes* und *Sozialökonomie* erstellt und auf dem Internetportal SESAM QUEST veröffentlicht.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Aktualisierung der Issue Evaluation Table

AP2: Abgeschlossen.

AP3: Abgeschlossen

AP4: Prognoseberechnung des geplanten Versuchs, Nachkalibrierung der Materialparameter

AP5: Keine

AP6: Keine

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 E 10256
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2006 bis 31.10.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 62.389,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kamlot	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In dem Vorhaben werden Rechenmodelle mit thermisch, hydraulisch und mechanisch gekoppelten Stoffansätzen zur Beschreibung der Langzeitentwicklung der Auflockerungszone (Extension Disturbed Zone EDZ) um Hohlräume in Endlagern für radioaktive Abfälle im Salzgestein überprüft und auf Basis gezielter Laborversuche weiterentwickelt. Sofern sich in Auswertung der Laborversuche und Modellrechnungen die Notwendigkeit ergibt, ist beabsichtigt, sicherheitlich relevante Eigenschaften und Prozesse in die PA-(Performance Assessment) Modelle zu übernehmen.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Projektes THERESA von der Europäischen Union gefördert und vom Projektträger PTKA-WTE co-finanziert. Das oben genannte deutsche Verbundprojekt umfasst die Arbeiten der GRS, Bereich Endlagersicherheitsforschung in Braunschweig, der DBE Technology in Peine und des IfG Leipzig.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erstellung eines Fragen- bzw. Aufgabenkatalogs (Issue Evaluation Table IET) für die zielorientierte Bewertung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit der vorhandenen Codes bzw. Modelle (wird von GRS und DBE Technology bearbeitet)
- AP2: Datensammlung zur Modellierung der Entwicklung und Rückbildung der EDZ sowie von hydraulisch-mechanischen Wechselwirkungen
- AP3: Modellkalibrierung und Integration der konstitutiven Modelle in die Rechencodes
- AP4: Benchmark-Laborversuch und Rechnungen mit dem modifizierten Stoffgesetz
- AP5: Durchführung von PA-Rechnungen unter Berücksichtigung der EDZ-Entwicklung (wird von GRS bearbeitet)
- AP6: Berichterstellung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Arbeitspaket 3 wurden vom IfG Leipzig folgende Arbeiten durchgeführt bzw. Ergebnisse erzielt:

Nach der Kalibrierung der Stoffgesetze Günther/Salzer und Minkley anhand von Festigkeits- und Kriechversuchen am Asse-Steinsalz Na₂S erfolgte nunmehr die Anwendung auf Asse Steinsalz Na₃ als weitere Steinsalzvarietät. Es lagen umfangreiche Festigkeits- und Dilatanzversuche vor, die im Rahmen der Tragfähigkeitsanalyse für das Bergwerk Asse durchgeführt wurden. Die numerische Simulation mit dem Stoffansatz Günther/Salzer erbrachte eine sehr gute Übereinstimmung mit den deformationsgeregelten Laborversuchen, wobei die am Steinsalz Na₂S ermittelten Parameter nicht geändert werden mussten.

Die von der GRS erarbeitete Planung des Benchmark-Versuches an einem gelochten Salzkern wurde hinsichtlich der Bildung einer EDZ an der Kontur der Innenbohrung analysiert und das Versuchsregime mit unterschiedlichen Belastungszuständen und Abläufen in numerischen Fallstudien simuliert. Zur Erzeugung einer signifikanten EDZ wurde ein modifizierter Versuchsablauf vorgeschlagen.

Die Präsentation der Ergebnisse und Diskussion der Versuchsplanung erfolgten im Rahmen des Task Force Meetings am 15. und 16. April bei der GRS in Braunschweig.

Innerhalb des Berichtswesens im 6. EU-Rahmenprogramm erfolgte die Erstellung der Fragebögen „Wissenschaft und Gesellschaft“, „Statistik des Personaleinsatzes“ „Sozialökonomie“. Die Fragebögen wurden online über das Portal SESAM QUEST vorgelegt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Weiterarbeit im Arbeitspaket 3 erfolgt gemäß dem Arbeitsplan mit den Schwerpunkten:

- Numerische Simulation deformationsgeregelter Laborversuche am Steinsalz Na₃ mit dem Stoffansatz Minkley
- Weiterführung der Prognoserechnungen für den GRS-Benchmarktest
- Stoffgesetzkalibrierung und Integration notwendiger Parameter für gekoppelte Berechnungen
- Hydraulisch-mechanisch gekoppelte Berechnung und Untersuchung der Anwendbarkeit beider Stoffansätze hinsichtlich der Aufgabenstellung

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10276
Vorhabensbezeichnung: Weiterentwicklung sicherheitsanalytischer Methoden zur Vorbereitung eines Safety Case in Deutschland -WESAM-		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2006 bis 30.09.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 778.575,00 EUR	Projektleiter: Dr. Rübel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

WESAM stellt im Wesentlichen das nationale Ko-Vorhaben für die Arbeiten der GRS-Braunschweig im Rahmen des integrierten Projektes (IP) PAMINA dar, das im 6. Rahmenprogramm der Europäischen Union von Oktober 2006 bis September 2009 durchgeführt wird. Das übergeordnete Ziel des IP PAMINA und damit auch von WESAM besteht in der Verbesserung und Harmonisierung von Methoden und Rechenprogrammen für die integrierte Langzeitsicherheitsanalyse für unterschiedliche Konzepte zur Entsorgung langlebiger radioaktiver Abfälle und bestrahlter Brennelemente in tiefen geologischen Formationen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Struktur von WESAM entspricht jener des Projektes PAMINA und beinhaltet vier Arbeitspakete:

Im ersten Arbeitspaket wird ein umfassender Überblick über den internationalen Stand der Methoden und Ansätze bei der Langzeitsicherheitsanalyse und beim Safety Case erarbeitet. Dabei werden auch die Defizite methodischer Natur, bei den eingesetzten Werkzeugen und der Qualität der benötigten Daten identifiziert.

Im zweiten Arbeitspaket erfolgt eine Weiterentwicklung von Methoden für probabilistische Modellrechnungen, wobei vor allem die Methoden zur Bestimmung von Verteilungsfunktionen und neue mathematische Methoden zur Sensitivitätsanalyse untersucht werden.

Im dritten Arbeitspaket werden die Bedeutung von Sicherheitsfunktionen bei der Ableitung von Szenarien und vor allem die Nutzung von Sicherheits- und Funktionsindikatoren für Endlager in Salz- und Tonformationen betrachtet.

Im vierten Arbeitspaket wird die Bedeutung von komplexen Modellansätzen in integrierten Sicherheitsanalysen untersucht. Dies geschieht mit Hilfe vergleichender Rechnungen verschiedener Organisationen und Rechenprogramme. Dabei sollen Einzeleffekte in einem Endlager im Salz betrachtet sowie der Einfluss der Komplexität der Fernfeldmodelle betrachtet werden.

In einigen Punkten geht die Bearbeitungstiefe in WESAM über die von PAMINA hinaus. Dies betrifft die Arbeiten zu den Unsicherheiten, die Sicherheitsindikatoren und die Modellierung mit Hilfe komplexer Modellansätze.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Fertigstellung des zusammenfassenden Topic Reports mit den Beiträgen aller Projektpartner zum Themengebiet „Sicherheits- und Performanceindikatoren“. Abschluss des Berichts Deliverable D1.1.1 zu den ersten vier Topics. Erstellung von ersten Entwürfen von Beiträgen mit der Beschreibung der nationalen Arbeiten für den Review zu den neuen Themengebieten „Sensitivitätsanalyse“, „Modellierungsstrategie“ und „Entwicklung des Endlagersystems“, die auf einen Workshop mit den anderen Projektpartnern abgestimmt wurden. Das Themengebiet zur Sensitivitätsanalyse wird leitend von der GRS betreut.
- AP2: Die Programmierung eines Preprozessors zur Erstellung von Stichproben und eines Postprozessors zur Auswertung der EMOS Rechnungen mittels SIMLAB und MATLAB wurde weitergeführt. Die Varianz-basierten statistischen Methoden wurden an einem generischen Endlager für HAW im Salz getestet. Die Ergebnisse für die beiden untersuchten Rechenfälle wurden auf der PSAM 9 Konferenz in Hong Kong präsentiert. Bei der Anwendung der Varianz-basierten Methoden ergaben sich verschiedene offene Fragen, die eine zukünftige Klärung erfordern.
- AP3: Es wurden Testrechnungen für ein HAW Endlager im Salz zur Berechnung der Sicherheitsindikatoren durchgeführt. Dabei wurde zusätzlich zu den bisher üblicherweise betrachteten Indikatoren zusätzlich die „Energieleistung am Rand des EWG“ berechnet. Für diesen Indikator wurde zusätzlich ein Referenzwert abgeleitet.
Die Arbeiten zur Erstellung des Deliverable D3.4.1 „Report on general concepts on assessing repository safety“ wurden begonnen.
- AP4: Die Modellierung des Konvergenzprozesses wurde für einen der definierten Testfälle mit angepassten Randbedingungen wiederholt. Der komplexe Rechencode zur Modellierung des Laugenzutritts in eine verfüllte Strecke wurde ausgewählt und der Aufbau eines Modells begonnen. Die Modellierung des Schadstofftransports im Deckgebirge wurde für das Modell mit einer einfachen Geometrie abgeschlossen und zeigte eine befriedigende Übereinstimmung zwischen r^3t und EMOS. Das Modell für die komplexe Geometrie des Deckgebirges wurde definiert. Der Auftrag zur Fortführung der Arbeiten zur Kopplung von r^3t / PHREEQC wurde an das Steinbeis Institut vergeben und die Arbeiten wurden begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Erstellung des zusammenfassenden Topic Reports mit den Beiträgen aller Projektpartner zum Themengebiet „Sensitivitätsanalyse“. Abstimmung der Beiträge aller Projektpartner für den Review der zweiten vier Topics auf einem Workshop in Helsinki.
- AP2: Erstellung einer Richtlinie zur Wahl von Verteilungsfunktionen bei der Unsicherheitsanalyse. Die Rechnungen zur Anwendung Varianz basierter statistischer Methoden werden weiter ausgewertet und die Ergebnisse sowie offene Fragen dokumentiert.
- AP3: Die Berechnung der Sicherheitsindikatoren wird für das Endlagersystem im Salzgestein und für Tonstein fortgeführt.
- AP4: Zusammenführung und Vergleich der Ergebnisse der Modellierung des Konvergenzprozesses mit jenen von NRG. Die Modellrechnungen zum Laugenzutritt in eine verfüllte Strecke werden durchgeführt. Für die Modellierung des Schadstofftransports im Deckgebirge werden die Arbeiten am komplexen Modell fortgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Becker, D.-A.; Spiessl, S.: Variance-Based Sensitivity Analysis for the Long-Term Safety of an Underground Radioactive Waste Repository in Rock Salt. Proceedings for the PSAM 9 conference Hong Kong, 2008.

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 10286
Vorhabensbezeichnung: Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tongestein (ERATO)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2006 bis 31.12.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 524.906,00 EUR	Projektleiter: Dr. Pöhler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens besteht in der Entwicklung eines Konzeptes für ein Endlager im Ton in Deutschland. Dabei soll zunächst der Stand der internationalen Erfahrungen bei der Standortsuche und Erkundung von Endlagern in Tonformationen zusammengestellt und auf Übertragbarkeit überprüft werden. Die vorgesehenen Planungen konzentrieren sich auf die Auslegung, die bergmännische und bautechnische Herstellung bzw. Ausbau von unterirdischen Grubenräumen in Tonformationen, die Auswahl von Behältermaterialien und –konzepten sowie die entsprechenden Einrichtungen und Geräte zum Betreiben eines Endlagers im Tongestein. Darüber hinaus werden Fragen zu Safeguards und zu dem erforderlichen Aufwand zur Errichtung und zum Betrieb eines solchen Endlagers behandelt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Einzelnen sind folgende Arbeitspakete vorgesehen:

- AP1: Ermittlung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik zur Standortsuche und -erkundung im Tonstein
- AP2: Ermittlung der Methoden und Verfahren zur Herstellung von Erkundungsbohrungen und Schächten im Tonstein
- Herstellung von Grubenbauen im Tongestein
 - Ermittlung der praktischen Erfahrungen bei der übertägigen Aufhaldung von bergmännisch aufgefahretem Tongestein im Hinblick auf eine spätere Nutzung als Verfüllmaterial
- AP3: Konzeptionelle Planung eines Endlagers anhand vorher ermittelter Daten und Abfallmengen
- Erstellung eines Referenzdatensatzes (Daten für einen Referenzstandort)
 - Behälterkonzepte und Abfallmengen
 - Thermische Auslegungsrechnungen
 - Grubengebäudeplanung
 - Vortriebs- und Bohrtechnik
 - Transport-/Einlagerungssysteme
 - Bewetterung/Strahlenschutz
 - Verfüll-/Verschlusskonzept
- AP4: Safeguards
- AP5: Abschätzen des Aufwandes für die Planung, Genehmigung und Realisierung eines Endlagers im Tonstein
- AP6: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP3:

Im Rahmen dieses Vorhabens werden für die Endlagerung ausgedienter Brennelemente 2 Hauptvarianten betrachtet:

- Streckenlagerung von POLLUX-3 (3 BE) und
- Bohrlochlagerung von BSK3 (3 BE) in vertikalen Bohrlöchern (Tiefe ca. 50 m)

Für beide Hauptvarianten ergeben sich hinsichtlich der Transport- und Einlagerungssysteme verschiedenen Untervarianten. Diese wurden bewertet und die jeweiligen Vorzugsvarianten festgelegt.

Bei der Streckenlagerung ergab sich als Vorzugsvariante die Einlagerung von sogenannten Supercontainern (POLLUX mit heat spreader und geotechnischer Barriere aus Bentonit in Stahlblechummantelung). Bei der Bohrlochlagerung bestand die Vorzugsvariante in der Auskleidung des Bohrlochs mit einem Außenliner, dem anschließenden Einstapeln der Bentonitrings mit Zentriereinrichtungen und nachfolgendem Einlagern der BSK3 sowie Einfördern des heat spreaders. Im Vergleich der Vorzugsvarianten untereinander ergaben sich deutliche Vorteile für die Bohrlochlagerung. Neben geringerem Flächenbedarf für die Einlagerungsfelder und geringeren Streckenlängen bestehen weitere im Hinblick auf den im Vergleich zur Streckenlagerung nur geringen Stahlaufwand (BSK3 mit Außenliner gegenüber POLLUX-Behälter mit Stahlblechmantel, Schienenabschnitt und verlorenem Einlagerungswagen) sowie hinsichtlich der quasi gebirgsverbundenen Einbettung der BSK3 im Bohrloch und in der Realisierung des Bohrlochverschlusses. Darüber hinaus sind die zu handhabenden Massen der Transporteinheiten (Transferbehälter mit BSK3) erheblich geringer als bei der Streckenlagerung (Supercontainer). Insofern wurde für die Einlagerung von ausgedienten Brennelementen in einer Tonformation die Bohrlochlagerung favorisiert. (BSK3, Bentonit, heat spreader einzeln).

Für die Einlagerung der HAW-Kokillen, CSD-B und CSD-C in Bohrlöchern wurden 2 Varianten untersucht. Variante 1 geht davon aus, dass die Kokillen zusammen mit der geotechnischen Barriere aus Bentonit in einem Container konditioniert werden. Bei Variante 2 werden die geotechnische Barriere aus Bentonit und die Kokillen nacheinander im Bohrloch eingebracht. Im Vergleich der Varianten ergaben sich deutliche Vorteile für die Variante 2, da die Streckenquerschnitte geringer, die Spurweite für den gleisgebundenen Transport identisch ist mit der für die BSK3-Einlagerung und die Transferbehälter eine erheblich geringere Masse aufweisen.

Basierend auf Betriebsabläufen für die Herstellung der Strecken, Einlagerungsbohrlöcher und die Einlagerung der Gebinde wurde eingeschätzt, dass aufgrund der umfangreichen Vorleistungsarbeiten (Auffahrung und Ausbau der Strecken, Herstellung der Bohrlochkeller, Gleisbau, Herstellung und Herrichtung der Einlagerungsbohrlöcher) im Durchschnitt ein Einlagerungsfortschritt von 0,5 BSK3 pro Arbeitstag erreichbar ist. Unter Berücksichtigung des Mengengerüsts für BSK3 und Kokillen ergibt sich ferner, dass die Einlagerung von BSK3 zeitführend und eine Gesamtdauer für die Einlagerung von ca. 55 Jahren anzusetzen ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Fortführung der Arbeiten ist in Übereinstimmung mit der Vorhabensplanung vorgesehen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Dr. M. Pöhler: Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle im Tongestein (ERATO), 8. Projektstatusgespräch, Forschungszentrum Karlsruhe, 06./07. Mai 2008 (im Druck)

Zuwendungsempfänger: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Regina-Pacis-Weg 3, 53113 Bonn		Förderkennzeichen: 02 E 10296
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Visualisierung und Datenanalyse		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2006 bis 30.09.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 82.938,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Rumpf	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Entwicklung der Programmpakete d^3f und r^3t stehen Werkzeuge zur Modellierung der salzgetriebenen Dichteströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien zur Verfügung. Im Rahmen dieser Projekte haben die Arbeitsgruppen in Bonn und Freiburg Visualisierungswerkzeuge für die großen und komplexen Datensätze in 2D und vor allem in 3D entwickelt. Diese Werkzeuge sollen nun weiterentwickelt werden und den neuen Fragestellungen im Zusammenhang mit Kluftgeometrien und freien Oberflächen angepasst werden.

Diese Visualisierung soll hierarchisch konzipiert werden. D. h. in der interaktiven Exploration werden grobe Repräsentationen der Daten bereitgestellt, die effektiv in Echtzeit zeitlich animiert oder räumlich skaliert und gedreht werden können. Finale graphische Ergebnisse und Animationen sollen hingegen den vollen Detailreichtum der Simulationen widerspiegeln.

Die Datenanalyse dreidimensionaler zeitabhängiger Daten erfordert lokalisierte Techniken der Visualisierung. D. h. es soll möglich sein an Raumpunkten über die Zeit, oder auf Kurven in Raumzeit, oder auch auf Domänengrenzen über die Zeit, die Entwicklung skalarer oder vektorieller sowie akkumulierter Größen auszulesen und graphisch aufzubereiten.

Schon im Projekt r^3t wurden Multiskalen-Bildverarbeitungstechniken entwickelt, um die Strömungsfelder und den Transport von Schadstoffen visuell angemessen aufzubereiten und damit ein Verständnis der simulierten Prozesse zu ermöglichen. Diese Methoden sollen nun vor allem in Hinblick auf dreidimensionale Strömungen mit Schadstofftransport weiterentwickelt werden.

Die Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der GRS (Dr. E. Fein), Uni Jena (Prof. Attinger), der Uni Freiberg (Prof. Kröner) und der Uni Heidelberg (Prof. Wittum) durchgeführt. Zusätzlich ist auch das Steinbeis-Forschungszentrum (Dr. Heisig) über einen Unterauftrag eingebunden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

AP9: Visualisierung und Datenanalyse (Arbeitsgruppe Rumpf)

AP10: Visualisierung und Datenanalyse (Arbeitsgruppe Rumpf)

Schwerpunkt der Arbeitsgruppe Kröner ist hierbei die Entwicklung effizienter Diskretisierungsverfahren für die hier zu entwickelnden numerischen Methoden zur Datenanalyse. Schwerpunkt der Arbeitsgruppe Rumpf ist die Entwicklung von hierarchischen Datenanalysemethoden und Postprocessing-Methoden basierend auf dreidimensionaler morphologischer Bildverarbeitung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Visualisierungsplattform GRAPE wurde im Kontext von ersten neuen Datenformaten weiterentwickelt. Das Projekt wurde in enger Zusammenarbeit von Frau Dipl. Math. Nadine Olischläger mit der Arbeitsgruppe Kröner in Freiburg bearbeitet.

Im Zusammenhang mit den Visualisierungswerkzeugen wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

Zum Statustreffen im April 2008 wurde ein Visualisierungswerkzeug für Kluftoberflächen in GRAPE implementiert. Dabei wurde jedoch angenommen, dass die Kluftgeometrien explizit zur Verfügung gestellt werden. Nach dem Treffen stand jedoch fest, dass diese nur implizit zur Verfügung stehen werden und aus den Daten- bzw. Geometriedateien rekonstruiert werden müssen. Gemeinsam mit der Arbeitsgruppe Kröner wurde dann ein Konzept erarbeitet, wie die Kluftdaten ermittelt werden können und wie die entsprechenden Klassen in GRAPE aussehen werden. Die Implementation ist zurzeit in der Umsetzung. Neben der eigentlichen Visualisierung der Kluftgeometrien sollen auch Daten in bzw. an der Kluft dargestellt werden. Zum Statustreffen im April 2008 wurden erste Visualisierungstools in GRAPE präsentiert. Doch auch in diesem Fall sind die Daten nur implizit gegeben. Bei einem intensiven Austauschtreffen mit der Arbeitsgruppe Kröner im Juni wurde die Art der Datengenerierung festgelegt und die Visualisierungssoftware vor entwickelt. Hierbei wurde dezidiert das Datenformat beschrieben. Erste Implementationen wurden begonnen.

Im *Kontext der Multiskalenmethoden* wurde ein Verfahren zur simultanen Segmentierung und Registrierung von freien Oberflächen (zunächst basierend auf skalaren Daten) entwickelt. Die Modellierung der freien Oberflächen kann dabei sowohl als Niveauflächen als auch durch Phasenfeld-Parameter beschrieben werden, dabei stellte sich der Phasenfeld-Ansatz als aus Effizienzgründen zu bevorzugen heraus. Die Registrierung dieser freien Oberflächen basiert auf der Minimierung einer hyperelastischen Energie, die die registrierten Teilmengen ineinander deformiert. Diese Methode soll als Grundlage eines entsprechenden Verfahrens für vektorwertige Daten dienen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise weitergeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fahnenbergplatz, 79098 Freiburg		Förderkennzeichen: 02 E 10306
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Entwicklung effizienter Diskretisierungsverfahren für die zu entwickelnden numerischen Verfahren zur Datenanalyse		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2006 bis 30.09.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 94.760,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kröner	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Entwicklung der Programmpakete d^3f und r^3t stehen Werkzeuge zur Modellierung der salzgetriebenen Dichteströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien zur Verfügung. Im Rahmen dieser Vorgänge haben die Arbeitsgruppen in Bonn und Freiburg Visualisierungswerkzeuge für die großen und komplexen Datensätze in 2D und vor allem in 3D entwickelt. Diese Werkzeuge sollen nun weiterentwickelt werden und den neuen Fragestellungen im Zusammenhang mit Kluftgeometrien und freien Oberflächen angepasst werden.

Diese Visualisierung soll hierarchisch konzipiert werden. D. h. in der interaktiven Exploration werden grobe Repräsentationen der Daten bereitgestellt, die effektiv in Echtzeit zeitlich animiert oder räumlich skaliert und gedreht werden können. Finale graphische Ergebnisse und Animationen sollen hingegen den vollen Detailreichtum der Simulationen widerspiegeln.

Die Datenanalyse dreidimensionaler zeitabhängiger Daten erfordert lokalisierte Techniken der Visualisierung. D. h. es soll möglich sein, an Raumpunkten über die Zeit oder auf Kurven in Raumzeit oder auch auf Domänengrenzen über die Zeit die Entwicklung skalarer oder vektorieller sowie akkumulierter Größen auszulesen und graphisch aufzubereiten.

Schon im Projekt r^3t wurden Multiskalen-Bildverarbeitungstechniken entwickelt, um die Strömungsfelder und den Transport von Schadstoffen visuell angemessen darzustellen und damit ein Verständnis der simulierten Prozesse zu ermöglichen. Diese Methoden sollen nun vor allem in Hinblick auf dreidimensionale Strömungen mit Schadstofftransport weiterentwickelt werden.

Die Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der GRS (Dr. E. Fein), der Uni Jena (Prof. Attinger), der Uni Freiburg (Prof. Kröner) und der Uni Heidelberg (Prof. Wittum) durchgeführt. Zusätzlich ist auch das Steinbeis-Forschungszentrum (Dr. Heisig) über einen Unterauftrag eingebunden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete von der GRS bearbeitet:

AP9: Visualisierung und Datenanalyse (Arbeitsgruppe Kröner)

AP10: Visualisierung und Datenanalyse (Arbeitsgruppe Rumpf)

Schwerpunkt der Arbeitsgruppe Kröner ist hierbei die Entwicklung effizienter Diskretisierungsverfahren für die hier zu entwickelnden numerischen Methoden zur Datenanalyse. Schwerpunkt der Arbeitsgruppe Rumpf ist die Entwicklung von hierarchischen Datenanalysemethoden und Postprocessing-Methoden basierend auf dreidimensionaler morphologischer Bildverarbeitung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Visualisierungsplattform GRAPE wurde im Kontext von ersten neuen Datenformaten weiterentwickelt. Bearbeitet wurde das Projekt von Herrn Mirko Kränkel (AG Kröner) in enger Zusammenarbeit mit Frau Dipl. Math. Nadine Olischläger (AG Rumpf).

Im Zusammenhang mit den Visualisierungswerkzeugen wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

Beim Statustreffen im April 2008 wurden erste Visualisierungsmethoden zur Darstellung von Kluftoberflächen präsentiert. Allerdings basiert dieses Tool darauf, dass die geometrischen Daten explizit zur Verfügung stehen. Im Laufe des Statustreffens stellte sich jedoch heraus, dass die Daten nur implizit gegeben sind. Dies machte es notwendig Algorithmen zu entwickeln, die es ermöglichen, diese Daten aus den entsprechenden Eingabedateien zu rekonstruieren. Diese Entwicklung wurde bei einem Treffen mit der Arbeitsgruppe Rumpf in Bonn begonnen. Bei diesem Treffen wurden die grundlegenden Konzepte und Ideen für die Datenrekonstruktion und Visualisierung festgelegt und mit der Implementierung begonnen. Die Fertigstellung dieser Implementierung ist der momentane Gegenstand der Arbeiten.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Auftrag angegebenen Vorgehensweise weitergeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena		Förderkennzeichen: 02 E 10316
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Skalierung von halinen und thermohalinen Strömungen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2006 bis 30.09.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 82.404,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Attinger	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Entwicklung der Programmpakete d^3f und r^3t stehen Werkzeuge zur Modellierung der salzgetriebenen Dichteströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien zur Verfügung. Um die Anwendbarkeit der beiden Programmpakete auch auf die Wirtformationen Ton und Kristallin auszudehnen, ist eine Weiterentwicklung zur expliziten Berücksichtigung von Klüften und Kluftsystemen Voraussetzung. Bei der Modellierung von Einflüssen durch Klimaveränderungen kann der Wärmetransport nicht mehr vernachlässigt werden. Deshalb wird die Modellierung der Dichteströmung auf den Einfluss des Wärmetransportes ausgedehnt. Hierzu wird das Skalenverhalten von thermohalinen Strömungen in heterogenen Medien untersucht. Um Modellierungen im oberflächennahen Bereich zu ermöglichen, wird auch die Berücksichtigung von phreatischen und Potentialströmungen ermöglicht. Selbstverständlich werden auch Prä- und Postprozessoren zur Dateneingabe und zur Ergebnisdarstellung den erweiterten Anforderungen angepasst.

Die Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der Uni Jena (Prof. Attinger), der Uni Freiberg (Prof. Kröner), der Uni Bonn (Prof. Rumpf) und der Uni Heidelberg (Prof. Wittum) durchgeführt. Zusätzlich ist auch das Steinbeis-Forschungszentrum (Dr. Heisig) über einen Unterauftrag eingebunden. Zusätzlich ist auch das Steinbeis-Forschungszentrum (Dr. Heisig) über einen Unterauftrag eingebunden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete von der Gruppe Attinger (Universität Jena) bearbeitet:

- AP5: Skalierung von halinen und thermohaliner Strömungen in heterogenen geologischen Medien
- WP1: Stabilitätsanalyse von halinen und thermohalinen Strömungen in heterogenen geologischen Medien
- WP2: Skalierung von halinen und thermohalinen Strömungen in heterogenen geologischen Medien

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es wurde mit der Bearbeitung von WP1 fortgefahren. Ein Testproblem (aus Schincariol and Schwarz, WRR 26 (1990)) wurde implementiert und die Ergebnisse mit anderen Arbeiten verglichen, um die Richtigkeit der Implementierung zu überprüfen.

Die lineare Stabilitätsanalyse für haline Strömungen, die von Held, Attinger and Kinzelbach (WRR 41, 2005) entwickelt wurde, wurde nun erweitert. Die Analyse basiert auf Techniken von Mehrskalentwicklung und Perturbationtheorie. Ein neues Stabilitätskriterium wurde mathematisch formuliert für den Fall homogener haliner Strömungen. Das Kriterium berücksichtigt Eigenschaften wie Dichte, Viskosität und Strömungsgeschwindigkeit.

Das Kriterium wurde dann numerisch getestet. Als Referenzproblem diente das Problem von Schincariol. Die Parameter wurden einzeln variiert, um die Effekte zu entkoppeln. Es wurden weitere Vergleiche mit anderen Stabilitätskriterien, insbesondere mit dem von Welty and Gelhar (WRR 27(8), 1991) gezogen.

Ein Testproblem mit einem heterogenen Medium wird zurzeit implementiert. Das Programm *fgn* wird benutzt, um die Permeabilität stochastisch zu generieren. Eine Schnittstelle für das Einlesen des Permeabilitätsfeldes in d^3f wird geschrieben.

Ergebnisse:

Eine gute Übereinstimmung von theoretischen und praktischen Untersuchungen wurde für homogene Strömungen beobachtet.

Der Vergleich mit dem Stabilitätskriterium von Welty and Gelhar (WRR 27(8), 1991) hat ergeben, dass unser Kriterium die Stabilität/Instabilität eines Problems zuverlässiger vorhersagen kann.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

- Verschiedene Fälle von Dichteströmungsproblemen durch heterogene geologische Medien zu implementieren und simulieren.
- Das Stabilitätskriterium zu erweitern. Der Einfluss von Heterogenitäten (Permeabilität), aber auch von Dispersivität auf die Stabilität eines Problems, soll in dem Kriterium berücksichtigt werden. Theoretische Vorarbeiten sind gemacht.

5. Berichte, Veröffentlichungen

A stability criterion for density driven flows: the homogeneous case by J. L. Musuuza, S. Attinger, and F.A. Radu, wurde bei Advances in Water Resources eingereicht (Juli 2008).

Ein Poster mit dem Titel: A stability criterion for density driven flows in homogeneous media, by Jude Musuuza, S. Attinger and F.A. Radu wurde an der European Geological Union (EGU) Konferenz in Wien (April 2008) präsentiert.

Einen Vortrag mit dem Titel: Stability criteria for heterogeneous density driven flows, wurde von S. Attinger bei der CMWR Konferenz in San Francisco (Juli 2008) gehalten.

Zuwendungsempfänger: Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Grabengasse 1, 69117 Heidelberg		Förderkennzeichen: 02 E 10326
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Modellierung des Wärmetransports und Modellierung freier Oberflächen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2006 bis 30.09.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 654.710,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Wittum	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Projekts ist die Modellierung des Wärmetransports in d^3f (AP6) und die Modellierung freier Oberflächen in d^3f und r^3t (AP8) einzubringen.

Zur Einbeziehung der Kopplung muss zusätzlich die Energiegleichung aufgestellt und in das Modell eingekoppelt werden. Zur Diskretisierung werden die bestehenden Finite-Volumen-Verfahren und neuartige unstetige Galerkin-Methoden herangezogen. Das entstehende algebraische System wird mit Hilfe von Mehrgitterverfahren voll gekoppelt gelöst. Hierzu muss das bestehende Lösungsverfahren erweitert und in wesentlichen Teilen neu entwickelt und implementiert werden. Alles muss in die Parallelisierung einbezogen werden. Zur Modellierung der freien Oberfläche muss zunächst eine stabile Beschreibung der freien Oberfläche und des ortsabhängigen Eintrags in den Grundwasserleiter erstellt werden. Das effektive Modell aus AP5 (Skalierung von halinen und thermohalinen Strömungen) muss hier numerisch gelöst werden.

Die Ergebnisse werden zusammen mit den Projektpartnern verwertet. Das Simulationssystem UG ist weltweit über 350-mal lizenziert. Diese Nutzergemeinde ist eine ausgezeichnete Plattform zur Verbreitung und Verwertung der Projektergebnisse.

Es erfolgt eine Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS), Braunschweig, dem Institut für Numerische Simulation der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, dem Mathematischen Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und dem Institut für Geowissenschaften der Universität Jena.

Das Verbundprojekt ist ein Folgevorhaben der beiden BMBF-Projekte vom 01.10.1994 – 31.08.1998 (FKZ 02C0254 6 und 02C0465 0) und vom 01.10.1998 – 31.12.2003 (FKZ 02E9148 2).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP6: Modellierung des Wärmetransports

AP8: Modellierung freier Oberflächen und Potentialströmungen in d^3f und r^3t

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP6: Modellierung des Wärmetransports

Das bisher erarbeitete Modell zur thermohalinen Strömung wurde in der Version mit Boussinesq-Approximation in d^3f implementiert. Erste Testrechnungen mit einer thermohalinen Variation des Elder-Problems haben die prinzipielle Richtigkeit sowohl des Modells als auch der Implementierung gezeigt. Weitere Testrechnungen werden derzeit durchgeführt.

Im Bereich der filternden algebraischen Mehrgitterverfahren (FAMG) wurde aufbauend auf den bisherigen Vorarbeiten eine für die gekoppelten Systeme im Bereich der Dichteströmungen mit Wärmetransport geeignete Variante des Lösers konzipiert. Diese basiert auf einem Punkt-Block-Ansatz. Vorteilhaft hieran ist, dass die Konzepte des im skalaren Fall bereits erfolgreich eingesetzten Verfahrens direkt übertragen werden können. Eine Weiterentwicklung der Konvergenztheorie trug zu einem besseren Verständnis des Verfahrens bei. Auf der Softwareseite wurde eine abstraktere Formulierung des Verfahrens im Rahmen eines Prototyps erstellt. Dieser enthält z. B. bereits eine Abstraktionsschicht für den Zugriff auf die algebraischen Strukturen, mit dem eine zukünftige Umstellung auf beschleunigte Datenstrukturen ermöglicht wird. Erste Tests mit linearen Modellproblemen wurden erfolgreich abgeschlossen. Der Löser erweist sich hierin als robust gegenüber den enthaltenen Parametern wie Diffusionskoeffizienten und Konvektionstermen.

AP8: Modellierung freier Oberflächen und Potentialströmungen in d^3f und r^3t

Es wurde eine erste Implementierung der freien Grundwasseroberfläche für den Transport von Schadstoffen im Programm r^3t realisiert. In dieser Test-Implementierung ist die freie Oberfläche mit Hilfe einer signierten Distanz-Funktion implizit beschrieben. Diese spezielle Levelset-Funktion ist zuerst stationär und analytisch vorgegeben, später wird diese Funktion numerisch aufgelöst. Für eine numerische Simulation des Schadstoff-Transports mit r^3t in einem Gebiet, das die freie Grundwasseroberfläche umschließt, wird die signierte Distanz-Funktion in den Knoten des Gitters gespeichert, wobei das Gitter nicht an die Grundwasseroberfläche angepasst ist. Mit Hilfe der Distanz-Funktion werden die Gitterpunkte in zwei Gruppen aufgeteilt - die "aktiven" Punkte (in denen die Distanz-Funktion negativ ist und wo der Schadstoff-Transport gerechnet wird) und die "inaktiven" Punkte (in denen die Distanz-Funktion nichtnegativ ist und wo kein Transport gerechnet wird). Für die aktiven Knoten, die nichtaktive Nachbarknoten haben, wird eine Extrapolation verwendet, die die Konzentrationen für die inaktiven Knoten rechnet. Damit kann man auch für solche aktiven Knoten die übliche Diskretisierung von r^3t verwenden.

Die ersten Ergebnisse des Verfahrens wurden auf dem Statusgespräch in Leipzig (April 2008) gezeigt. Für ein Gebiet, in dem die Grundwasser-Oberfläche ein Teil eines Kreises ist und die Konzentration gleich Null ist, konnte man mit dem Verfahren eine analytisch vorgegebene exakte Lösung der Diffusionsgleichung gut approximieren. Gleichzeitig wurde ein Verfahren für die numerische Berechnung der signierten Distanz-Funktion vorgestellt, das später für die dynamische Beschreibung der Grundwasser-Oberfläche verwendet wird.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Auftrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10336
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d ³ f und r ³ t		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2006 bis 31.03.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.288.348,00 EUR	Projektleiter: Dr. Fein	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit der Entwicklung der Programmpakete d³f und r³t stehen Werkzeuge zur Modellierung der salzgetriebenen Dichteströmung und des Radionuklidtransportes durch poröse Medien zur Verfügung. Um die Anwendbarkeit der beiden Programmpakete auch auf die Wirtsfformationen Ton und Kristallin auszudehnen, ist eine Weiterentwicklung zur expliziten Berücksichtigung von Klüften und Kluftsystemen Voraussetzung. Bei der Modellierung von Einflüssen durch Klimaveränderungen kann der Wärmetransport nicht mehr vernachlässigt werden. Deshalb wird die Modellierung der Dichteströmung auf den Einfluss des Wärmetransportes ausgedehnt. Hierzu wird das Skalenverhalten von thermohalinen Strömungen in heterogenen Medien untersucht. Um Modellierungen im oberflächennahen Bereich zu ermöglichen, wird auch die Berücksichtigung von phreatischen und Potentialströmungen ermöglicht. Selbstverständlich werden auch Prä- und Postprozessoren zur Dateneingabe und zur Ergebnisdarstellung den erweiterten Anforderungen angepasst.

Die Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der Uni Jena (Prof. Attinger), der Uni Freiberg (Prof. Kröner), der Uni Bonn (Prof. Rumpf) und der Uni Heidelberg (Prof. Wittum) durchgeführt. Zusätzlich ist auch das Steinbeis-Forschungszentrum (Dr. Heisig) über einen Unterauftrag eingebunden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete von der GRS bearbeitet:

AP1: Leitung des Vorhabens

AP2: Detailplanung und Entwicklung der Benutzeroberfläche

AP3: Testrechnungen

AS4: Erstellung eines gemeinsamen Abschlussberichtes, Fortschreibung der Anwenderhandbücher und der Testfallsammlungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Bei der Nutzung der beiden Programme d^3f und r^3t werden auch die Computersoftware UG (Universität Heidelberg), GRAPE (Universität Bonn) und NETGEN (Universität Linz) benötigt. Die Verträge über Nutzung und Weitergabe müssen erweitert und erneuert werden. Die Vertragsentwürfe befinden sich zurzeit bei den Vertragspartnern zur Abstimmung. Auf der Grundlage der oben geschilderten Verträge wurde ein Vertrag für die zukünftige Lizenzvergabe von d^3f und r^3t entworfen.

In dieser Phase des Projektes wurde d^3f um die Möglichkeit erweitert, dichtegetriebene Strömungen auf Gebieten mit Klüften zu simulieren. Zur besseren Darstellung und genaueren Approximation möglicher Unstetigkeiten der Lösungen werden jedem Gitterpunkt, der eine Kluft beschreibt, zusätzlich zu den Werten der Lösung innerhalb der Kluft auch die Werte der Lösung in den angrenzenden porösen Medien zugewiesen. Die Diskretisierung wurde in enger Zusammenarbeit mit der AG Wittum umstrukturiert, um die Ankopplung der Wärmeausbreitung an das geklüftet-poröse Medium benutzerfreundlich zu gestalten. Mit d^3f wurden Tests für zweidimensionale Modelle durchgeführt, um die numerischen Verfahren bei der Kopplung von voller und der reduzierter Dimension zu überprüfen. Die Rechnungen zeigen, dass die UG-Standardlöser in diesem Fall etwas schlechter konvergieren als ohne Berücksichtigung von Klüften.

Die Erarbeitung der Detailplanung „Enhancement of the Computer Codes d^3f and r^3t (E-DuR); Elaborated Technical Concept“ wurde fortgesetzt. In einem ersten Gespräch mit der Firma Bredex wurden Möglichkeiten der Erstellung der Benutzeroberflächen erörtert.

Mit der Identifikation möglicher Testfälle zur Überprüfung der korrekten Arbeit der neuen Features wurde begonnen.

Am 21. und 22. April 2008 fand in Leipzig am Umweltforschungszentrum das 3. Statusgespräch statt. Die einzelnen Arbeitsgruppen berichteten über die bereits erfolgten und die für das nächste Halbjahr geplanten Arbeiten. Das nächste Statusgespräch wird am 27./28. Oktober in Freiburg bei Prof. Dietmar Kröner stattfinden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 10346	
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung und Umsetzung von technischen Konzepten für tiefe geologische Endlager in allen Wirtsgesteinen (EUGENIA)			
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2007 bis 31.12.2008		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 359.280,00 EUR		Projektleiter: Bollingerfehr	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das vorliegende Vorhaben wird im Verbund (oder: gemeinsam) mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführt. Es hat zum Ziel, den internationalen Kenntnisstand zu den verschiedenen länderspezifischen Konzepten für HAW-Endlager in den Wirtsgesteinen Salz, Tonstein und Magmatit sowie zu den Verfahren und Ergebnissen der weltweit durchgeführten Arbeiten zur Suche und Erkundung von Standorten für die Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle zusammenzustellen und zu bewerten. Schwerpunktmäßig werden die in Deutschland erzielten umfangreichen FuE-Ergebnisse zur Entwicklung von Endlagerkonzepten, Einlagerungs- und Transporttechniken und geotechnischen Barriersystemen für ein HAW-Endlager im Salz sowie der erreichte fortgeschrittene Stand der Erkundung eines potenziellen Endlagerstandortes am Beispiel der über- und untertägigen Erkundung des Salzstocks Gorleben dargestellt. Ergänzend dazu werden die in Deutschland seit Anfang der 90-iger Jahre bezüglich der HAW-Endlagerung in Magmatiten und Tonstein erzielten Untersuchungsergebnisse zur Auswahl potenziell geeigneter Endlagerregionen bzw. -standorte zusammengefasst und mit den in anderen Ländern durchgeführten Such- und Erkundungsarbeiten verglichen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenstellung internationaler Konzepte zur Endlagerung in tiefen Gesteinsformationen (DBE Technology)
- AP2: Sicherheitskonzepte für Endlager in tiefen Gesteinsformationen (DBE Technology)
- AP3: Standortsuche und Standorterkundung (BGR)
- AP4: Geologische Modelle und Standortrandbedingungen für HAW-Endlager in verschiedenen Wirtsgesteinen (BGR)
- AP5: Technische Endlagerkonzepte (DBE Technology)
- AP6: Bau und Instandhaltung von Endlagerbergwerken (DBE Technology)
- AP7: Verfüll- und Verschlussmaßnahmen (DBE Technology)
- AP8: Geotechnische Überwachungsmethoden beim Endlagerbetrieb (DBE Technology)
- AP9: Genehmigungstechnische Aspekte (DBE Technology)
- AP10: Abschließende bewertende Gegenüberstellung (BGR und DBE Technology)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten zum Arbeitspaket 5 „Technische Endlagerkonzepte“ wurden mit einem Berichtsentwurf abgeschlossen. Für die Länder mit fortgeschrittenem Entsorgungsprogramm für hochradioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente (Belgien, Deutschland, Finnland, Frankreich, Schweden, Schweiz, und USA) wurden detailliert die endzulagernden Abfälle, das Sicherheitskonzept, das Endlagerdesign, die Herrichtung des Grubengebäudes, die Transport- und Einlagerungstechnologie sowie grob das Verfüll- und Verschlusskonzept beschrieben.

Die Arbeiten zum Arbeitspaket 6 „Bau- und Instandhaltung von Endlagerbergwerken“ wurden mit einem Berichtsentwurf abgeschlossen. Die wesentlichen Unterschiede beim Bau und bei der Instandhaltung von Endlagerbergwerken in den Wirtsgesteinen Salz, Ton und Granit werden beschrieben.

Die Bearbeitung der Arbeitspakete 7 „Verfüll- und Verschlussmaßnahmen“ und 8 „Geotechnische Überwachungsmethoden beim Endlagerbetrieb“ wurde weitergeführt; ein vollständiger Berichtsentwurf ist für das 3. Quartal vorgesehen.

Die vorgezogenen Arbeiten zum Arbeitspaket 9 „Genehmigungstechnische Aspekte“ wurden mit einem Berichtsentwurf abgeschlossen. Hier wurden die jeweils national und übergeordnet geltenden gesetzlichen Regelwerke (Bergrecht, kerntechnisches Regelwerk, ...) zusammengestellt und vergleichend betrachtet. Darüber hinaus wurde auch die Struktur der zuständigen Behörden recherchiert und beschrieben.

Für den Abschlussbericht wurde von den Projektpartnern eine Gliederung erstellt und mit dem Projektträger und BMWi abgestimmt.

In regelmäßigen Projektgesprächen wurde der jeweils aktuelle Stand der Bearbeitung der Arbeitspakete vorgestellt, diskutiert und die Dokumentation der Ergebnisse mit dem Partner BGR abgestimmt. Im 1. Halbjahr 2008 fanden 3 Projektgespräche statt:

6. Projektgespräch am 13. 02 .2008
7. Projektgespräch am 28. 03. 2008
8. Projektgespräch am 14. 05. 2008.

Über den Fortschritt der Arbeiten wurden BMWi und der Projektträger PTKA in einem gesonderten Gespräch am Ende des 1. Quartals von BGR und DBE TECHNOLOGY GmbH informiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss der Arbeiten in den verbleibenden Arbeitspaketen und Erstellung und Abstimmung des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Str., 52428 Jülich		Förderkennzeichen: 02 E 10357
Vorhabensbezeichnung: Wechselwirkung mobilisierter Radionuklide mit sekundären Phasen in endlagerrelevanten Formationswässern		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2007 bis 31.03.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 798.105,00 EUR	Projektleiter: Dr. Curtius	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Aquatische Phasen, die in den Wirtsgesteinsformationen möglicher Endlager vorliegen, bedingen die Korrosion von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE). Die durch die Korrosion gebildeten sekundären Phasen binden die mobilisierten Radionuklide und verhindern bzw. verzögern dadurch ihre Freisetzung. Um verlässliche Aussagen im Hinblick auf eine langfristige sichere Endlagerung der FR-BE geben zu können, soll das Projekt dazu beitragen,

- a) das Korrosionsverhalten verschiedener FR-BE- Typen in unterschiedlichen aquatischen Phasen zu beschreiben,
- b) die kristallinen Bestandteile der entstandenen sekundären Phasen zu identifizieren und
- c) die Wechselwirkungen der Radionuklide mit den kristallinen Bestandteilen auf molekularer Ebene detailliert zu beschreiben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Auslaugversuche mit bestrahlten FR-BE unterschiedlicher Zusammensetzung in unterschiedlichen Formationswässern möglicher Endlager.

AP2: Auslaugversuche mit unbestrahlten FR-BE in unterschiedlichen Formationswässern und Identifizierung der kristallinen, sekundären Phasenbestandteile.

AP3: Sorptions- und Inkorporationsuntersuchungen mit endlagerrelevanten Radionukliden an den identifizierten, kristallinen Phasenbestandteilen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die Auslaugversuche mit den bestrahlten, unterschiedlichen FR-BE-Typen (Dispersionsbrennstoffe: metallisches UAl_x-Al und U_3Si_2-Al) in Tonporenwasser und in Wasser aus kristallinem Gestein sind noch nicht abgeschlossen. Das Korrosionsverhalten beider Typen in diesen Formationswässern ist vergleichbar.
- AP2: Auslaugversuche mit unbestrahlten FR-BE-Typen (Dispersionsbrennstoffe: metallisches UAl_x-Al und U_3Si_2-Al) in Salzlauge, Tonporenwasser und Wasser aus kristallinem Gestein bedingen die Bildung von sekundären Phasen. Um die entstandenen sekundären Phasen unter einer Schutzgasatmosphäre in Abhängigkeit der Temperatur und des Feuchtegehaltes zu untersuchen, wurde eine Feuchte- und Klimakammer an das XRD Gerät angebracht. Eine Kalibrierung des Gerätes als Funktion der Temperatur und des Feuchtegehaltes wurde durchgeführt.
- AP3: Inkorporationsuntersuchungen, um vierwertige Elemente in die Gitterstruktur des Mg-Al-CI-LDH durch partiellen Austausch des dreiwertigen Aluminiums einzubauen, wurden durchgeführt. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass Zr-IV eingebaut wurde.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Die Auslaugversuche mit bestrahlten FR-BE unterschiedlicher Zusammensetzung werden in den schwächer mineralisierten Wässern (Tonporenwasser und Wasser aus kristallinem Gestein) fortgeführt.
- AP2: Aufgrund der eingebauten und kalibrierten Feucht- und Klimakammer sollen nun die sekundären Phasen untersucht werden. Es wird angestrebt zu erkennen, welche Phasen bei welcher Temperatur und bei welchem Feuchtegehalt vorliegen, sich bilden beziehungsweise sich auflösen.
- AP3: Mit EXAFS Messungen soll der Einbau des vierwertigen Elementes Zr in die Gitterstruktur des Mg-Al-LDHs verifiziert werden. Anschließend soll überprüft werden, ob diese Verbindung insbesondere für die Fixierung von anionischen Radionuklidspezies eine höhere Rückhaltekapazität im Vergleich zum Mg-Al-LDH besitzt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 E 10367
Vorhabensbezeichnung: Anpassung des EMOS-Programmsystems an moderne Softwareanforderungen	
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2007 bis 31.12.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.415.200,00 EUR	Projektleiter: Dr. Becker

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Inhalt des Vorhabens ist eine Umarbeitung und Anpassung des Programmpakets EMOS zur Analyse der Langzeitsicherheit von geologischen Endlagern für radioaktive Abfälle an moderne Softwareanforderungen. Dabei steht neben der Vereinheitlichung von verwandten Modulen und Versionen sowie der Einführung einheitlicher moderner Datenstrukturen insbesondere die Optimierung von Algorithmen und Ablaufstrukturen im Vordergrund. Moderne, anwendungsorientierte Benutzerschnittstellen werden realisiert. Die Ausgabemöglichkeiten werden erweitert und flexibilisiert. Bei der Umsetzung kommen moderne Programmiersprachen zum Einsatz.

Die Arbeiten dienen als Grundlage für die Durchführung von Modellrechnungen zur integrierten Analyse der Langzeitsicherheit in zahlreichen aktuellen und zukünftigen Projekten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Arbeitsprogramm gliedert sich in fünf Arbeitspakete:

AP1: Code-Analyse und Know-how-Transfer.

Alle Codeteile des Programmpakets werden sorgfältig erfasst, katalogisiert und analysiert. Tiefgehende Kenntnisse des Programmaufbaus werden von älteren auf jüngere Mitarbeiter transferiert.

AP2: Erarbeitung eines neuen Programmkonzepts.

In zwei Arbeitsschritten werden neue Konzepte für die Programmierung, für die Datenübergabe sowie für den Programmablauf entwickelt. Dafür werden moderne Strategien angewandt. Die Datenverwaltung wird über ein Datenbanksystem realisiert.

AP3: Codeumstellung und -entwicklung.

Das Arbeitspaket umfasst zwei Arbeitsschritte, von denen der erste die Umstellung aller vorhandenen Module auf eine moderne Programmiersprache unter Beachtung der Konzepte aus AP2 umfasst. Im zweiten Arbeitsschritt wird ein neuer Statistik-Rahmen für die Durchführung probabilistischer Analysen entwickelt.

AP4: Steuerung des Programmablaufs und Anbindung an externe Programme.

Die einzelnen unabhängigen Programmmodule werden in drei Arbeitsschritten miteinander sowie mit externen Programmen verknüpft. Im ersten Schritt werden die globale Programmablaufsteuerung und der Datentransfer zwischen den Modulen neu organi-

siert. Die weiteren Arbeitsschritte dienen dem Anschluss an externe Programme zur statistischen Analyse und zur grafischen Visualisierung von Ergebnissen.

AP5: Test und Dokumentation.

Im ersten Arbeitsschritt werden mehrere frühere Studien mit dem neuen Programmpaket detailliert nachgerechnet und mit den alten Ergebnissen verglichen. Der zweite Arbeitsschritt dient der ausführlichen Dokumentation der neuen Programme.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Code-Analyse wurde weitergeführt. Dazu wurde mit einer detaillierten Analyse der Module CHETLIN, CHETNIS und CHETMAD begonnen. Dabei wurden einige Fehler identifiziert und behoben, die sich in bestimmten Programmablaufsituationen auswirken können. Im Rahmen des Know-How-Transfers wurde eine ausführliche Dokumentation der vereinheitlichten Version des Moduls LOPOS erstellt.

Die Reihe interner Gespräche zur Konzeption für den zukünftigen Aufbau des Gesamtpakets EMOS wurde fortgesetzt. Dabei wurden vorrangig die Möglichkeiten objektorientierter Programmierung diskutiert. Hierzu wurden vergleichende Konzepte erarbeitet. Auf deren Grundlage wurde beschlossen, die Neuentwicklung nicht, wie zunächst vorgesehen, im Standard FORTRAN-95, sondern in der Programmiersprache C++ durchzuführen. Dies erlaubt die vollständige Nutzung objektorientierter Programmierung, bedeutet aber andererseits einen erhöhten Einarbeitungsaufwand.

Bezüglich der Anbindung des Programms an ein Datenbanksystem in Verbindung mit der Realisierung einer Bedienungsfläche wurde ein Unterauftrag vergeben und durchgeführt. Dieser diente der Erstellung eines Umsetzungskonzepts einschließlich des Datenmodells. Die Arbeiten zur Anbindung des Probabilistik-Werkzeugs SIMLAB wurden fortgeführt. Eine provisorische Schnittstelle zum Einsatz mit der vorhandenen Version des Pakets EMOS steht damit zur Verfügung. Die endgültige Anbindung kann jedoch erst nach Abschluss der Programmentwicklungsarbeiten erfolgen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Zur Code-Analyse sind weitere Arbeiten erforderlich. Es ist geplant, zunächst die Module der CHET-Familie im Detail zu analysieren und den Programmablauf zu dokumentieren. Neben der Erstellung mangelbereinigter Versionen soll auf dieser Basis mit der Umarbeitung der Programme begonnen werden. Der Statistikrahmen wird ebenfalls auf Basis der vorhandenen Version analysiert und neu konzipiert. Zur Datenbankanbindung und Oberflächenerstellung soll mit der Durchführung eines umfangreichen Unterauftrags begonnen werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10377
Vorhabensbezeichnung: Untersuchung der THM-Prozesse im Nahfeld von Endlagern in Tonformationen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2007 bis 31.12.2011	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 3.073.679,00 EUR	Projektleiter: Dr. Zhang	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat die Weiterentwicklung des Wissens zum thermisch-hydraulisch-mechanischen Verhalten von Tonstein, insbesondere im Nahfeld eines HAW-Endlagers, zum Ziel.

Dieses Ziel lässt sich untergliedern in

- Die Erweiterung der Datenbasis zum THM-Verhalten des Tonsteins durch geeignete Experimente im Labor und in situ;
- Die Weiterentwicklung vorhandener Modellvorstellungen zur Verbesserung der Beschreibung und Berechenbarkeit des THM-Verhaltens des Tonsteins;
- Die Verbesserung bzw. Bereitstellung geeigneter Untersuchungsmethoden.

Diese Ziele werden durch die Beteiligung am neuen ANDRA-Forschungsprogramm für das Untertage-labor Bure (ULB) in den Jahren 2007 bis 2011 und am Mine-By-Experiment im Mont Terri Rock Laboratory (MTRL) erreicht. Neben dem generellen Erkenntniszuwachs sollen die im Rahmen dieses Vorhabens erzielten Ergebnisse bei der Verbesserung von Prozessmodellen sowie bei der Weiterentwicklung des Instrumentariums für die Langzeitsicherheitsanalyse für Endlager in Tongesteinen genutzt werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: *In-situ-Untersuchungen* der mechanisch-hydraulischen Auswirkungen einer Tunnelauffahrung im MTRL auf das umgebende Tonsteingebirge. Diese Untersuchungen werden gemeinsam mit NAGRA, BGR und ANDRA durchgeführt, wobei GRS die Messung von Porenwasserdruck, Permeabilität und Sättigungsänderung übernimmt. Ein weiterer In-situ-Test hat die Untersuchung des Langzeitverformungsverhaltens des Opalinuston im MTRL zum Ziel.
- AP2: *Laboruntersuchungen* am Callovo-Oxfordian-Tonstein und Opalinuston zu Langzeitverformung, Quelldruck/Quellverformung, Schädigung und Verheilung sowie am Auffahrungsrückstand aus dem ULB als Versatzmaterial.
- AP3: *Modellierung* des Mine-By-Experiments, des Langzeitverformungsverhaltens eines Bohrlochs im MTRL und der THM-Laborversuche.
- AP4: *Ergebniszusammenführung und Berichterstattung*.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Mine-By-Test: Die Porenwasserdruckmessungen in den 7 bereits installierten Messbohrlöchern wurden fortgeführt. Inzwischen passierte die Streckenauffahrung die beiden Messstellen, die in die neue Strecke reichen sollten, allerdings wurden die Messstellen nicht getroffen. Vermutlich sind die Bohrlöcher nach unten abgewichen. Daher werden die Messungen weitergeführt. Methoden zur Lokalisierung der Messstellen werden diskutiert. Die Tunnelauffahrung hat sich bei den Messungen in einem stufenweisen Anstieg des Drucks, der sich mit der Annäherung der Abbaufont korrelieren lässt, und einer Entlastung bei Passieren der Messstellen bemerkbar gemacht. Für den eigentlichen Mine-By-Test in der geplanten Nische 2 wurden die Vorbereitungen abgeschlossen. Im Juli werden weitere vier Messbohrlöcher gebohrt und instrumentiert.

Bohrlochverformungsmessung: Für die Messung der Langzeitverformung war die Beschaffung einer Dilatometersonde geplant, allerdings zeigte sich, dass die Kosten der Beschaffung die veranschlagten Mittel bei weitem überstiegen. Allerdings hat NAGRA Interesse an den geplanten Messungen angemeldet und sich bereit erklärt, GRS eine vorhandene Sonde zur Verfügung zu stellen, die von GRS zu überholen wäre. Aus diesem Grund verzögert sich der Beginn dieser Messungen, ein Mittelumstellungsantrag wird vorbereitet.

Zur Modernisierung der Prüfanlagen des Geotechniklabors wurden die folgenden Arbeiten planmäßig durchgeführt:

- Ein neuer Regler ist in der großen MTS-Prüfanlage für die Durchführung gekoppelter THM-Simulationsversuche an großen Tonkernen installiert und getestet worden.
- Die neue Triaxialprüfanlage für Kriechversuche bei hohen Spannungen bis zu 50 MPa und Temperaturen bis zu 150°C wurde durch Installation eines Ultraschallmesssystems zur Erkundung der Schädigung bzw. Verheilung von Tonstein erweitert. Dieses Messsystem ist mit einem Opalinustonkern erfolgreich getestet worden.
- Zwei triaxiale Druckzellen sind für die Messung der Langzeitverformung von Tonstein unter dreiaxialen Druckspannungen entwickelt und hergestellt worden. Sie werden in den vorhandenen Kriechprüfständen eingesetzt.
- Eine triaxiale Quellzelle ist für die Bestimmung des Quellverhaltens von Tonstein konzipiert worden und wird in der nächsten Zeit beschafft.
- Ein Befeuchtungssystem zur Befeuchtung von Tonproben bei Axialbelastungen ist konzipiert worden und wird in der nächsten Zeit aufgebaut und getestet.

Neben der Labormodernisierung sind eine Reihe von Schädigungs-/Verheilungsversuchen, Messungen von Quelldruck/-verformung und Wasserpermeabilität an COX-Tonproben begonnen worden.

Um die Ermittlung wärmetechnischer Parameter für Tonstein und Ton-Sand-Buffer zu ermöglichen, wurde ein Aufstockungsantrag gestellt. Diese Untersuchungen dienen der Vorbereitung von In-situ-Erhitze-Experimenten im Mont Terri URL.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Installation weiterer Messsonden und Weiterführung der bereits angelaufenen In-situ-Messungen im Mine-By-Experiment
- Starten des In-situ-Langzeitverformungstests in einem Bohrloch
- Beenden der Labormodernisierungsarbeiten
- Weiterführung der Schädigungs-/Verheilungsversuche, Quellversuche und Wasserpermeabilitätsmessungen
- Testen und Kalibrierung des triaxialen Kriechversuchssystems mit zwei neuen Zellen
- Beschaffung einer triaxialen Quellzelle und der zugehörigen Messgeräte

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10387
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2007 bis 30.04.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 205.565,00 EUR	Projektleiter: Dr. Herbert	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines systematisch hergeleiteten und begründeten Nachweiskonzeptes zum Schutz des Grundwassers vor schädlichen Verunreinigungen durch chemotoxische Stoffe eines Endlagers mit hochradioaktiven Abfällen im Wirtsgestein Salz oder Ton. Alle wichtigen Aspekte des Umgangs mit chemotoxischen Stoffen in einem HAW-Endlager werden untersucht und bewertet. Dazu gehören regulatorische Fragestellungen ebenso, wie Fragen nach dem Inventar solcher Stoffe in den verschiedenen Systemkomponenten eines Endlagers, wie auch die wissenschaftlichen Grundlagen und Methoden zur Stoffbewertung und zur Rückhaltung und Mobilisierbarkeit unter den Randbedingungen relevanter Szenarien. Das vorhandene Wissen zu den unterschiedlichen Aspekten dieser Thematik wird ebenso dargestellt, wie offene Punkte, bzw. zu füllende Lücken.

Zur Bearbeitung dieses komplexen Themas haben das Öko-Institut, DBE Technology und GRS eine Arbeitsgemeinschaft gebildet. Die Gesamtprojektleitung liegt beim Öko-Institut.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das folgende Arbeitsprogramm ist zur Erreichung der Vorhabensziele geplant.

AP1: Regulierung, Vorschriften, Anwendungsfälle - Analyse des Ist-Zustandes (Federführung: DBE Technology GmbH)

AP2: Inventar chemotoxischer Stoffe (Federführung: DBE Technology GmbH)

AP3: *Wissenschaftliche Grundlagen (Federführung: GRS)*

AP4: *Randbedingungen des Nachweises (Federführung: Öko-Institut e. V. und GRS)*

AP5: *Methoden der Stoffbewertung und Identifizierung relevanter Stoffe (Federführung: GRS)*

AP6: Nachweiskonzept für chemotoxische Stoffe (Federführung: Öko-Institut e. V.)

AP7: Koordination (Federführung: Öko-Institut e. V.)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Teilnahme an Projektgesprächen und Durchführung geochemischer Modellrechnungen. Im Berichtszeitraum wurde die Freisetzung der Metalle Mn, Cr, Ni, Fe, Cu, Mo, Nb, Sn, Ti, V sowie der Elemente Si, Al, P, C, As, N, B, Zr und U, die in der chemischen Zusammensetzung eines Polluxbehälters enthalten sind, modelliert. Dabei wurde die Korrosion eines Polluxbehälters mit Opalinuston-Lösung mit einem kinetischen Modell über 106 Jahre mit unterschiedlichen Feststoff/Lösungsverhältnissen gerechnet. Als Datenbasis dienten die thermodynamischen Daten für niedrigsalinare Lösungen aus der Datei THERODAT, die mit dem Rechenprogramm Geochemist's Workbench zur Verfügung gestellt. Den Rechnungen zugrunde gelegt wurde die Zusammensetzung eines kompletten Polluxbehälters mit 19 abgebrannten Brennelementen mit 600 m³ und 31.000 m³ Lösung. Es zeigte sich, dass dabei die Elemente As, B, Ni in beiden Lösungsvolumina vollständig in Lösung gehen. V geht nur mit dem größeren Lösungsvolumen vollständig in Lösung. Alle anderen Elemente sind löslichkeitsbegrenzt. Die maximale Löslichkeit wurde ermittelt und steht nun für weitere Szenarienanalysen zur Verfügung.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Erstellung der Dokumentation über die durchgeführten Rechnungen mit Kommentaren der Ergebnisse.
- Erstellung des Berichtes zu AP3.
- Erstellung einer Datenbasis aus vorhandenen thermodynamischen Pitzer-Daten im Format der THERMODAT, um o. g. Modellierungen zumindest für einige der o. g. Elemente und Schwermetalle auch für salinare Lösungen mit Geochemist's Workbench durchführen zu können.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: Öko-Institut e.V. - Institut für angewandte Ökologie, Merzhauser Straße 173, 79100 Freiburg		Förderkennzeichen: 02 E 10397
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2007 bis 30.04.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 248.572,00 EUR	Projektleiter: Sailer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines systematisch hergeleiteten und begründeten Nachweiskonzeptes zum Schutz des Grundwassers vor schädlichen Verunreinigungen durch chemotoxische Stoffe eines Endlagers mit hochradioaktiven Abfällen im Wirtsgestein Salz oder Ton. Alle wichtigen Aspekte des Umgangs mit chemotoxischen Stoffen in einem HAW-Endlager werden untersucht und bewertet. Dazu gehören regulatorische Fragestellungen ebenso, wie Fragen nach dem Inventar solcher Stoffe in den verschiedenen Systemkomponenten eines Endlagers, wie auch die wissenschaftlichen Grundlagen und Methoden zur Stoffbewertung und zur Rückhaltung und Mobilisierbarkeit unter den Randbedingungen relevanter Szenarien. Das vorhandene Wissen zu den unterschiedlichen Aspekten dieser Thematik wird ebenso dargestellt, wie offene Punkte bzw. zu füllende Lücken.

Zur Bearbeitung dieses komplexen Themas haben das Öko-Institut, DBE Technology und GRS eine Arbeitsgemeinschaft gebildet. Die Gesamtprojektleitung liegt beim Öko-Institut.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das nachfolgende Arbeitsprogramm ist zur Erreichung der Vorhabensziele geplant.

AP1: Regulierung, Vorschriften, Anwendungsfälle - Analyse des Ist-Zustandes (Federführung: DBE Technology GmbH)

AP2: Inventar chemotoxischer Stoffe (Federführung: DBE Technology GmbH)

AP3: Wissenschaftliche Grundlagen (Federführung: GRS)

AP4: *Randbedingungen des Nachweises (Federführung: Öko-Institut e. V. und GRS)*

AP5: Methoden der Stoffbewertung und Identifizierung relevanter Stoffe (Federführung: GRS)

AP6: *Nachweiskonzept für chemotoxische Stoffe (Federführung: Öko-Institut e. V.)*

AP7: *Koordination (Federführung: Öko-Institut e. V.)*

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im ersten Halbjahr 2008 fanden folgende Gespräche statt:

- 08.01.2008 Projektgespräch zu den Arbeitspaketen AP1, AP2 und AP3
- 05.02.2008 Arbeitsgespräch zu den wesentlichen Ergebnissen und Thesen aus AP1
- 27.03.2008 Arbeitsgespräch zur Diskussion der Textbeiträge zu AP1 (Anwendungsfälle, Regulierungen und Vorschriften) und AP2 (Inventar), zum Sachstand bei der Szenarienentwicklung und zum Bearbeitungskonzept für AP4
- 05.06.2008 Arbeitsgespräch hinsichtlich der Regulierungen aus dem nicht-radiologischen Bereich, deren Übertragbarkeit und der Vermeidung von Inkompatibilitäten zwischen chemotoxischem und radiologischem Sicherheitsnachweis

Die Bearbeitung der Arbeitspakete AP1, AP2 und AP3 wurde im 1. Halbjahr 2008 fortgesetzt, mit der Bearbeitung von AP4 wurde begonnen. Wesentliche Ergebnisse sind:

- AP1: Nationale und internationale Regularien wurden auf ihre Relevanz und ihre Übertragbarkeit im Hinblick auf die Genehmigung eines radioaktiven Endlagers mit chemotoxischen Inhaltsstoffen geprüft. Für verschiedene Anwendungsfälle in tiefen geologischen Formationen wurden die Randbedingungen ermittelt, unter denen chemotoxische Stoffe betrachtet werden. Die Arbeiten zu den untersuchten Fällen wurden abgeschlossen und textlich ausgearbeitet.
- AP2: Die für ein HAW-Endlager relevanten Inventarbestandteile wurden auf ihr chemotoxisches Potential hin überprüft. Dabei wurden verschiedene Endlagerkonzepte und Wirtsgesteine berücksichtigt. Die Ermittlung von Inventaren für die kommenden Modellrechnungen ist vorerst abgeschlossen. Für die weitere Bearbeitung ist es hilfreich, wenn die Inventare zusätzlich noch für größere Einheiten zusammengefasst werden. Im weiteren Verlauf ist außerdem zu entscheiden, wie mit Inventaren in Verfüllmaterialien umgegangen wird.
- AP3: Die Voraussetzungen und die Herangehensweise für die zweidimensionalen Szenarienrechnungen wurden festgelegt. In den ersten Modellrechnungen zur Normalentwicklung in einem HAW-Endlager in Tonformationen und der Reaktionen von niedrig-salinarer Lösung mit Komponenten des Endlagersystems unter Berücksichtigung des diffusiven Transports zeigte sich, dass bei Lösungsangriff erhebliches Inventar an Kernbrennstoff bzw. chemotoxischen Stoffen in Lösung geht, aber bei Änderungen der Randbedingungen wieder ausfällt.
- AP4: Hinsichtlich der Bearbeitung von AP4 (Randbedingungen des Nachweises) wurde für die AS4.1 und AS4.5 des Öko-Instituts ein Bearbeitungskonzept entwickelt. Die anderen Arbeitsschritte werden federführend von GRS vorbereitet und durchgeführt.

Die Bearbeitung erfolgte planmäßig.

4. Geplante Weiterarbeiten

Gemäß dem aktuellen Zeitplan ist für das erste Halbjahr 2008 geplant:

- Bearbeitung der Arbeitspakete 3, 4 und 5
- ein Projektgespräch, ca. 1 - 2 Arbeitsgespräche je nach Erfordernis, ein Statusgespräch

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 10407
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2007 bis 30.04.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 192.707,00 EUR	Projektleiter: Tholen	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines systematisch hergeleiteten und begründeten Nachweiskonzeptes zum Schutz des Grundwassers vor schädlichen Verunreinigungen durch chemotoxische Stoffe eines Endlagers mit hoch radioaktiven Abfällen im Wirtsgestein Salz oder Ton. Alle wichtigen Aspekte des Umgangs mit chemotoxischen Stoffen in einem HAW-Endlager werden untersucht und bewertet. Dazu gehören regulatorische Fragestellungen ebenso, wie Fragen nach dem Inventar solcher Stoffe in den verschiedenen Systemkomponenten eines Endlagers, wie auch die wissenschaftlichen Grundlagen und Methoden zur Stoffbewertung und zur Rückhaltung und Mobilisierbarkeit unter den Randbedingungen relevanter Szenarien. Das vorhandene Wissen zu den unterschiedlichen Aspekten dieser Thematik wird ebenso dargestellt, wie offene Punkte, bzw. zu füllende Lücken.

Zur Bearbeitung dieses komplexen Themas haben das Öko-Institut, DBE Technology und GRS eine Arbeitsgemeinschaft gebildet. Die Gesamtprojektleitung liegt beim Öko-Institut.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das nachfolgende Arbeitsprogramm ist zur Erreichung der Vorhabensziele geplant.

AP1: Regulierung, Vorschriften, Anwendungsfälle - Analyse des Ist-Zustandes (Federführung: DBE Technology GmbH)

AP2: Inventar chemotoxischer Stoffe (Federführung: DBE Technology GmbH)

AP3: Wissenschaftliche Grundlagen (Federführung: GRS mbH)

AP4: Randbedingungen des Nachweises (Federführung: Öko-Institut e. V. und GRS mbH)

AP5: Methoden der Stoffbewertung und Identifizierung relevanter Stoffe (Federführung: GRS mbH)

AP6: Nachweiskonzept für chemotoxische Stoffe (Federführung: Öko-Institut e. V.)

AP7: Koordination (Federführung: Öko-Institut e. V.)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im ersten Halbjahr 2008 fanden folgende Gespräche statt:

- | | |
|------------|--|
| 08.01.2008 | Projektgespräch zu den Arbeitspaketen AP1, AP2 und AP3 |
| 05.02.2008 | Arbeitsgespräch zu den wesentlichen Ergebnissen und Thesen aus AP1 |
| 27.03.2008 | Arbeitsgespräch zur Diskussion der Textbeiträge zu AP1 (Anwendungsfälle, Regulierungen und Vorschriften) und AP2 (Inventar), zum Sachstand bei der Szenarienentwicklung und zum Bearbeitungskonzept für AP4 |
| 05.06.2008 | Arbeitsgespräch hinsichtlich der Regulierungen aus dem nicht-radiologischen Bereich, deren Übertragbarkeit und der Vermeidung von Inkompatibilitäten zwischen chemotoxischem und radiologischem Sicherheitsnachweis. |

Die Bearbeitung der Arbeitspakete AP1, AP2 und AP3 wurde im 1. Halbjahr 2008 fortgesetzt, mit der Bearbeitung von AP4 wurde begonnen. Wesentliche Ergebnisse sind:

Im AP1 wurde die regulatorische Situation dahingehend analysiert, ob Ausführungsbestimmungen erlassen worden sind, in denen die Vorgehensweise zum Nachweis der Einhaltung des Schutzziels des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) festgelegt ist. Weiterhin wurde untersucht, ob es für die Bewertung von Beeinträchtigungen des Grundwassers insbesondere im Hinblick auf die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen unmittelbar geltende verbindliche Grenz- oder Richtwerte gibt. Nach einer rechtssystematischen Einordnung erfolgte die Beschreibung der Anforderungen aus den Fachrechten „Atomrecht“, „Wasserrecht“, „Abfallrecht“ und „Bergrecht“. Anhand einzelner Anwendungsfälle aus den Bereichen Speicherung, Deponierung, Versatz und Verwahrung, jeweils in tiefen geologischen Formationen sowie für Endlager im In- und Ausland wurde die Genehmigungspraxis dargestellt. Zusammenfassend wurde ein Fazit aus den Ergebnissen der Analyse zur rechtlichen Situation und den Anwendungsbeispielen erstellt und Möglichkeiten zur Nachweisführung aufgezeigt.

Im AP2 wurde das Inventar chemischer und chemotoxischer Stoffe eines HAW-Endlagers in Salz und Ton ermittelt. Dabei wurden neben Abfall- und Behältermaterialien der hochradioaktiven und wärmeentwickelnden radioaktiven Abfälle auch weitere im Zusammenhang mit der Endlagerung einzubringende Materialien, wie Ausbaumaterialien sowie Versatz- und Barrierematerialien aus Verfüll- und Verschlussmaßnahmen, berücksichtigt. Die Bearbeitung wird als abgeschlossen angesehen.

Im AP3 wurden die Voraussetzungen und die Herangehensweise für die zweidimensionalen Szenarienrechnungen festgelegt. In den ersten Modellrechnungen zur Normal-Entwicklung in einem HAW-Endlager in Tonformationen und der Reaktionen von niedrig-salinärer Lösung mit Komponenten des Endlagersystems unter Berücksichtigung des diffusiven Transports zeigte sich, dass bei Lösungsangriff erhebliches Inventar an Kernbrennstoff bzw. chemotoxischen Stoffen in Lösung geht, aber bei Änderungen der Randbedingungen wieder ausfällt.

Im AP4 wurden vom Öko-Institut für die AS 4.1 und AS 4.5 ein Bearbeitungskonzept entwickelt. Die anderen Arbeitsschritte werden federführend von GRS vorbereitet und durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Gemäß dem aktuellen Zeitplan ist für das erste Halbjahr 2008 geplant:

- Bearbeitung der Arbeitspakete 3, 4 und 5
- ein Projektgespräch und ca. 1 - 2 Arbeitsgespräche nach Erfordernis, ein Stausgespräch

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		Förderkennzeichen: 02 E 10417
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit der Komplexbildung und Sorption dreiwertiger Actinide Am(III), Pu(III) im System Actinid-NOM-natürliches Tongestein-Aquifer		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2007 bis 30.04.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 293.420,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Bernhard	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist eine Erweiterung und Ergänzung der thermodynamischen und kinetischen Datenbasis im System dreiwertiges Actinid-Tongestein-NOM. Die Arbeiten gliedern sich in temperaturabhängige Komplexbildungsuntersuchungen von Am(III) (punktuell Pu(III)) mit Huminstoff-Modellliganden, Huminstoffen und Tonorganika sowie in Batchsorptionsexperimente im System Am(III)-(Konkurrenzion U(VI))-(NOM)-Tongestein/Modellton-Wasser. Aus den gewonnenen Daten soll ein vollständiger thermodynamischer Datensatz (Enthalpie, Entropiewerte) generiert werden, der Aussagen über Sensitivität der Komplexbildung/Sorption auf Temperaturveränderungen bzw. Rückschlüsse auf Bindungsverhältnisse ermöglicht. Langzeitbatchsorptionsexperimente unter endlagerrelevanten Bedingungen dienen der Charakterisierung der zeitlichen Veränderung des Sorptionsverhaltens im System Am(III)-(NOM)-Tongestein-Wasser. Das Forschungsvorhaben erfolgt in Kooperation mit den Projekten der Universitäten Mainz, Saarbrücken, München, Potsdam, Heidelberg, des Instituts für Interdisziplinäre Isotopenforschung Leipzig und des Instituts für Nukleare Entsorgung Karlsruhe.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Optimierung der Absorptionsspektroskopie mit einer Long-Path-Flow-Cell
Etablierung und Optimierung dieser Methode für den Nachweis kleinster Am(III)-Konzentrationen ($< 10^{-7}$ mol/l)
- AP2: Untersuchungen der Komplexreaktionen im System Am(III)-NOM und Am(III)-Modellligand
Bestimmung der Komplexbildungskonstanten von Am(III) mit sauerstoffhaltigen Huminstoff-Modellliganden, mit verschiedenen Huminsäuren, mit Tonorganika unter Standardbedingungen ($I = 0.1$ mol/l NaClO_4 , Temperaturen von $20^\circ\text{C} > T > 80^\circ\text{C}$, pH von $2 > \text{pH} < 6$, in Anwesen- bzw. Abwesenheit von U(VI) als Konkurrenzion) und unter endlagerrelevanten Bedingungen (synthetisches Porenwasser, reduzierende Bedingungen)

AP3: Sorptionsuntersuchungen im System Am(III)-NOM-natürliches Tongestein unter den gegebenen natürlichen Bedingungen
Durchführung temperaturabhängiger (Langzeit) Batchsorptionsversuchen im System Am(III)-(NOM)-Ton (natürliches Tongestein, Modellton)-Wasser unter Standardbedingungen ($I=0.1 \text{ mol/l}$, $20 \text{ °C} > T > 80 \text{ °C}$, $3 > \text{pH} > 10$) und unter endlagerrelevanten Bedingungen (Porenwasser)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die experimentellen Arbeiten zur Optimierung der Prozeduren zur Absorptionsspektrometrie von Actiniden mit einer Kapillarzelle sind abgeschlossen. Eine beheizbare Box für die temperaturabhängigen Untersuchungen wurde in Betrieb genommen. Diese wurde anhand der Komplexierung von Eu(III) mit verschiedenen HS-Modellliganden (u. a. Pyromellitsäure, 2,5 Dihydroxybenzoesäure, Salicylsäure) unter Standardbedingungen ($I = 0,1 \text{ M}$, $\text{pH} = 4.0$) ausführlich getestet. Die pKs- und $\log\beta$ bei 30 °C , 40 °C und 50 °C wurden bestimmt, die thermodynamischen Daten ΔH , ΔG und ΔS berechnet. Für die Komplexierung von Eu mit 2,5 Dihydroxybenzoesäure wurden z. B. folgende Werte $\log\beta_{11}$ ermittelt: $\log\beta_{11} = 3,40$ (30 °C); $3,56$ (40 °C) und $3,97$ (50 °C); $\Delta H \sim 55 \text{ kJ/mol}$ ($\text{pH} = 4$, $I = 0,1 \text{ mol/l}$).

Ergänzende Untersuchungen wurden/werden mittels TRLFS und potentiometrischer Titration im FZ Dresden-Rossendorf am Institut für Radiochemie durchgeführt. Für Pyromellitsäure und deren Eu(III)-Komplexe wurden mittels potentiometrischer Titration die pKs- bzw. $\log\beta$ -Werte bei verschiedenen Temperaturen zwischen 10 °C und 50 °C bestimmt und daraus die thermodynamischen Daten ΔH , ΔG und ΔS berechnet.

Die analogen Experimente mit Am(III) wurden begonnen (AP1). Erste Untersuchungen zeigen, dass die Nachweisgrenze für Am(III) in einer 2 m Kapillarzelle kleiner $2 \times 10^{-8} \text{ mol/l}$ ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im 2. HJ. 2008 sollen die Arbeiten zur exakten Bestimmung der Nachweisgrenze/Bestimmungsgrenze von Am(III) mittels Absorptionsspektroskopie mit einer Kapillarzelle sowie die temperaturabhängigen Untersuchungen zu den Komplexreaktionen mit verschiedenen HS-Modellliganden zum Abschluss gebracht werden. Hierbei sollen neben der Temperatur auch pH-Wert und Ionenstärke variiert werden (AP2). Die thermodynamischen Daten sollen ermittelt werden. Die Ergebnisse sollen mit den ergänzenden/vergleichenden TRLFS-Messungen und potentiometrischen Titrations verglichen, diskutiert und veröffentlicht werden.

Die in AP3 geplanten Sorptionsexperimente von Eu(III) und Am(III) an Opalinuston unter verschiedenen Bedingungen sollen begonnen werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: TU Clausthal, Adolpf-Römer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 E 10427
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen zur Validierung von Modellansätzen für Tongestein anhand von Feldexperimenten am Standort Tournemire (F) im Rahmen DECOVALEX-THMC		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2007 bis 31.12.2009		Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008
Gesamtkosten des Vorhabens: 586.331,00 EUR		Projektleiter: Prof. Dr. Lux

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Überlegungen innerhalb der Bundesregierung, neben Salzgestein auch Tongestein als mögliches Endlager - Wirts- und Barrierengestein in Betracht zu ziehen und vergleichende Untersuchungen zu sicherheitlichen Vor- und Nachteilen zumindest auf generischer Ebene vorzunehmen, erfordern eine intensive wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den endlagerrelevanten Eigenschaften der Tongesteine und ihrer Reaktion auf den technologischen Eingriff mit Auf-fahrungen, Abfallablagerung und Stilllegungsmaßnahmen. Vor diesem Hintergrund ist in dem Vorhaben 02E9632 vom Unterzeichnenden der Übertragbarkeit von etablierten Stoffmodellen aus dem Salinarbereich auf das Tongestein nachgegangen worden. Dabei zeigt sich nicht unerwartet angesichts der internationalen Erfahrungen, dass die Kopplung thermischer, hydraulischer, mechanischer und chemischer Prozesse (THMC-Kopplung) zumindest bei Tongesteinen eine eher größere Bedeutung haben wird als bei Salinargesteinen.

Angesichts der Tatsache, dass in Deutschland die Möglichkeiten zur aktiven Forschung im Tongestein sehr begrenzt sind, ist eine Beteiligung an internationalen Projekten im Tongestein unerlässlich zur Erarbeitung eigener Erfahrungen und eines eigenen Modellierungs- und Simulationsinstrumentariums.

Eines dieser internationalen Projekte ist das seit mehr als 10 Jahren auf hohem wissenschaftlichen Niveau laufende DECOVALEX-Projekt. Dem Unterzeichnenden ist angetragen worden, im Rahmen einer neuen Phase des DECOVALEX-THMC Projektes mitzuarbeiten und zwar besteht die Möglichkeit der Einbindung in das Nachfolgeprogramm des Teilprojektes TASK C (Excavation Damaged Zone (EDZ) in the argillaceous Tournemire site).

Die Bearbeitung dieser Fragestellung schließt inhaltlich konsequent an das Forschungsvorhaben 02E9632 an, sodass die dort erzielten Forschungsergebnisse in internationaler Zusammenarbeit unmittelbar auf ein sehr gut dokumentiertes Feldprojekt im Tonsteingebirge am Standort Tournemire mit Daten zu geologischer Struktur, mechanischen und hydraulischen Eigenschaften, Deformationen und konturnahen Rissbildungen (zeitabhängige Entwicklung der Excavation Damaged Zone (EDZ)) angewandt werden können.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Datenbeschaffung und Datenaufarbeitung,
- AP2: Bohrkernbeschaffungskampagne,
- AP3: Beobachtung des zeitabhängigen Bohrlochverhaltens durch Kalibermessungen,
- AP4: Aufarbeitung vorhandener laborativer Erkenntnisse,
- AP5: Durchführung eigener laborativer Untersuchungen,
- AP6: Ableitung von standortbezogenen repräsentativen Materialdaten,
- AP7: Aufbau von 3-dimensionalen Berechnungsmodellen,
- AP8: Durchführung numerischer Simulationen zum Gebirgstragverhalten,
- AP9: Gegenüberstellung von Berechnungsergebnissen und Messdaten,
- AP10: Diskussion der Ergebnisse im internationalen Rahmen,
- AP11: Dokumentation der Forschungsarbeiten, Generalisierung der Befunde, Erarbeitung eines Abschlussberichtes.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Durchführung von Gesprächen zur Datenbeschaffung, weitere Aufarbeitung der zur Verfügung gestellten Daten und Einarbeitung in bestehende Unterlagen Tournemire.

- Dokumentation und Erarbeitung von Datendefiziten vor dem Hintergrund geplanter numerischer Simulationen im Rahmen der Aufgabenstellung.
- AP2: Durchführung einer ersten Bohrkernbeschaffungskampagne im September 2007 am Standort Tournemire in Absprache mit IRSN mit Zwischenlagerung des Bohrkernmaterials in speziell für Tongestein entwickelten Druckzellen.
- AP3: Planung von Kalibermessungen an Bohrlöchern der Kernbohrungen im September 2007 am Standort Tournemire in Absprache mit IRSN; Durchführung der Messungen in Zusammenarbeit mit einem qualifizierten Ingenieurbüro im Oktober 2007; erste Interpretation der Ergebnisse; Erarbeitung von Vorschlägen zur Optimierung der Arbeiten; Interpretation der Ergebnisse; Vorbereitung einer weiteren Messkampagne in Tournemire im Herbst 2008 in Absprache mit IRSN
- AP4: Aufarbeitung vorhandener laborativer Erkenntnisse aus der verfügbaren Literatur; Zusammenstellung von Materialdaten vor dem Hintergrund der geplanten numerischen Simulationen.
- AP5: Durchführung von TC-Festigkeitsversuchen an Vollprüfkörpern mit messtechnischer Erfassung der Dilatanz zur Bestimmung zentraler Gesteinsparameter, d. h. Verformungs- und Kurzzeitfestigkeitsverhalten sowie Volumenänderungs- und Formänderungsarbeit unter Berücksichtigung der Spannungsgeometrie mit Identifikation von lokationsbezogenen Streubreiten; laborative Untersuchungen sind an unter verschiedenen Randbedingungen gelagertem Kernmaterial der Lokation Tournemire erfolgt; Planung weiterer Versuchsreihen zur Identifizierung von grundsätzlichen Alterungsaspekten im Rahmen des Verformungs- und Kurzzeitfestigkeitsverhaltens.
- AP6: Ableitung eigener Materialkennwerte im Rahmen des Verformungs- und Kurzzeitfestigkeitsverhaltens.
- AP7: Aufbau eines 3-dimensionalen (3D) Berechnungsmodells zur Simulation des Gebirgstragverhaltens am Beispiel des alten Tunnels aus dem Jahre 1881; 3D-Berechnungen mit hinreichender numerischer Genauigkeit (konservative Annahme kein tragender Ausbau) haben sich als sehr zeitaufwendig herausgestellt; alternativ sind 2D-Modelle erarbeitet worden, mit denen zunächst Parameter- und Sensitivitätsanalysen durchgeführt worden sind (numerische Qualität); Aufbau weiterer 2D-Berechnungsmodelle entsprechend den vorhandenen Auffahrungen (Querstellen).
- AP8: Durchführung erster orientierender numerischer Simulationen zum Gebirgstragverhalten mit Materialdaten aus AP4; Herausarbeitung grundsätzlicher numerischer Erfahrungen im Tonsteingebirge durch Stoffmodell- / Parametervariation an 2D-Referenzmodellen aus AP7 im Tonsteingebirge mit dem FDM-Programmsystem FLAC3D (Primärspannungszustand, mechanisch-hydraulische Kopplung); Ermittlung der Ausnutzungsgrade η_r und η_s im Hinblick auf die Konturentfestigung (Ausbildung Auflockerungszone); Erste Ergebnisse zeigen, dass im Rahmen der bisherigen Analysen weder die Bruch- noch die Gebirgsfestigkeit überschritten werden → im Gegensatz zu der dokumentierten Realität noch keine Auflockerungszone.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Weitere Dokumentation vorhandener Daten und Auswertungen.
- AP2: Planung einer weiteren Bohrkernbeschaffungskampagne im 2. Hj. 2008 am Standort Tournemire in Absprache mit IRSN.
- AP3: Durchführung von Wiederholungsmessungen im 2. Hj. 2008 am Standort Tournemire in Absprache mit IRSN.
- AP4: Weitere Dokumentation vorhandener Ergebnisdaten.
- AP5: Planung und Durchführung von weiteren Versuchen an Kernmaterial der Lokation Tournemire zur Identifizierung der lagerungsbedingten Ausprägung der das mechanische Materialverhalten von Tongestein maßgeblich beeinflussenden hydraulischen Verhältnisse (Porenwasserdruck, Wassergehalt); Verwendung von eigens für die Re-sättigung von Prüfkörpern hergestellten und optimierten Zwischenlagerungsbehältern; Porendruckmessung während der Versuche; Validierungsversuche an Sandstein.
- AP6: Ableitung von zeitabhängigen Materialkennwerten.
- AP7: Aufbau von 3D-Berechnungsmodellen entsprechend den vorhandenen Auffahrungen (Querstellen).
- AP8: Weiterführende Herausarbeitung grundsätzlicher numerischer Erfahrungen im Tonsteingebirge durch Stoffmodell- / Parametervariation an 3D-Referenzmodellen aus AP7 im Tonsteingebirge mit dem FDM-Programmsystem FLAC3D.
- AP9: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus AP8 mit Arbeiten aus AP1; Definition eines Kriechbruchkriteriums und Untersuchung des Langzeittragverhaltens bei viskosem Materialmodell; Variation der Gebirgsqualität (Ansatz eines latenten Trennflächengefüges).
- AP10: Diskussion der Ergebnisse im internationalen Rahmen.
- AP11: Dokumentation der Forschungsarbeiten, Generalisierung der Befunde, Weiterführung der Arbeiten zum Abschlussbericht.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Str. 8, 99423 Weimar		Förderkennzeichen: 02 E 10437
Vorhabensbezeichnung: Hydraulische Permeabilität von Moderat bis hochverdichteten expansiven Tonen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2007 bis 31.12.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 290.316,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Schanz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In Vorläuferprojekten hat der Antragsteller die unterschiedlichsten Eigenschaften von gesättigten und ungesättigten Tonen untersucht. Dazu gehörten die Kompressibilität, der Quelldruck, das Quellpotential und in jüngster Zeit den Einfluss der Temperatur auf das gekoppelte hydraulisch mechanische Verhalten von Tonen. Die im Vorfeld durchgeführte Auswertung der internationalen wissenschaftlichen Literatur zur Endlagersicherheitsforschung führt zu dem eindeutigen Ergebnis, dass im Bereich der hydraulischen Konduktivität von expansiven Tonen/Bentoniten ein erheblicher Erkenntnismangel besteht.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Ziel des vorliegenden Forschungsantrags ist die Ableitung eines konstitutiven Modells zur Beschreibung der gesättigten hydraulischen Konduktivität von expansiven Tonen (Bentoniten).

Die hierzu notwendigen Untersuchungen umfassen sowohl experimentelle als auch theoretische Arbeiten. Ausgehend von der mikrostrukturellen Betrachtung von moderat bis hochverdichteten Tonen als Materialien mit unterschiedlichen Porensystemen (multimodale Porengrößenverteilung) wird mittels physikalischer und physiko-chemischer Konzepte der für die hydraulische Konduktivität relevante Anteil der Porengrößenverteilung und dessen Evolution zufolge Hydratation quantifiziert. Das Modell beinhaltet neben den mineralogischen Eigenschaften der Tone (u. a. CEC, spezifische Oberfläche, etc.) auch die physiko-chemischen Eigenschaften der Porenfluide (u. a. Ionenkonzentration, etc.). Das Modell ist wegen dieser Zusammenhänge direkt auf natürliche Tone zu übertragen. Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen zur Validierung und Verifizierung des Modells werden an unterschiedlichen Bentoniten isochorische Quelldruckversuche mit anschließender gesättigter Durchströmung durchgeführt und ausgewertet. Anwendungen des Modells ergeben sich u. a. im Bereich der Verwahrung von radioaktiven und toxischen Abfällen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zurzeit werden die hydraulischen Permeabilitätsversuche an den expansiven Tonen durchgeführt. In einer ersten Versuchsphase werden die Versuchskörper quasi drucklos mit Fluid beaufschlagt und volumenkonstant gesättigt. Dabei werden die Fluidaufnahme und der Quelldruck über die Zeit erfasst. Die Proben sind quasi gesättigt ($> 98\%$) wenn der Quelldruck konstant ist. Es werden auch in Abhängigkeit von den Versuchsrandbedingungen nicht monotone Zeitverläufe der Quelldrücke beobachtet. Diese Versuchsphase dauert zwischen einem bis zwei Monate.

An den gesättigten Proben werden dann die hydraulischen Permeabilitäten bestimmt. Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Permeabilität vom hydraulischen Gradienten werden die einzelnen Versuchskörper nach Erreichen eines konstanten Volumenstroms je Laststufe mit anwachsenden Gradienten beaufschlagt. Diese hydraulischen Laststufen dauern zwischen drei bis vier Wochen. Es werden jeweils drei identische Versuchskörper identisch beaufschlagt. Die gemittelten Ergebnisse werden zur Validierung und Verifizierung des theoretischen Modells verwendet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Berücksichtigung der unterschiedlichen physico-chemischen Kräfte im theoretischen Modell
- Vergleich und Bewertung der gemessenen und prognostizierten Volumenströme und Permeabilitäten
- Erstellung eines numerischen Modells zur inversen Analyse der experimentellen Versuchsergebnisse
- Erweiterung der Versuche auf nicht-expansive und natürliche Tone
- Fortführung der Permeabilitätsversuche unter Variation der Tone, der Fluide und Initialzustände

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: IBeWA Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser- und Depo- nietechnik Wilsnack & Partner, Lessingstr. 46, 09599 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 E 10447
Vorhabensbezeichnung: Zerstörungsfreie In-situ-Permeabilitätsmessung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2007 bis 30.09.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 180.978,00 EUR	Projektleiter: Dr. Wilsnack	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Entwicklung einer Versuchsmethodik und -apparatur zur Ermittlung der oberflächennahen Permeabilität von Gesteinsformationen und/oder Bauwerken.

Die Entwicklung des Verfahrens ist die Grundlage für die Ermittlung der Permeabilität an der Kontur von Gebirgsformationen. Die damit ermittelbaren Parameter bilden eine wesentliche Grundlage für die Konzipierung und Dimensionierung von hydraulischen Querschnittsabdichtungen für untertägige Hohlräume.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Erstellung eines Lastenheftes

AP2: Entwicklung eines Konzeptes für die Versuchsausrüstung und die Versuchsdurchführung

AP3: Konstruktion, Planung und Bau der Versuchsausrüstung

AP4: Entwicklung Auswertesoftware

AP5: Test und Korrektur der Versuchsausrüstung

AP6: Berichtslegung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden Teilleistungen zu den Arbeitspaketen 2 - 5 realisiert.

- Festlegung des Modellkonzeptes für die numerische Versuchsauswertung: dreidimensional in r -, φ -, z -Geometrie (IBeWa).
- Beginn der Programmierung des Programmcodes für die numerische Auswertung und der Oberfläche für die Eingabe und Verwaltung der Messungen bzw. Auswertungen (IBeWa).
- Fortsetzung der Recherchen zu den einzelnen Komponenten für den Bau eines Prototyps der Versuchsausrüstung: Packergrundkörper, Abdichtung des Packers gegenüber Gebirgsstoß, Ankerung und Hydraulikkolben für Fixierung am Stoß (IBeWa/TU BAF – Inst. f. Bohrtechnik und Fluidbergbau).
- Materialbeschaffung für den Bau der Packergrundkörper.
- Abstimmung der Anforderungen für die Datenübertragung und die Messanforderungen des verlorenen Drucksensors (IBeWa/RCS-Technik).
- Konzipierung, Planung und Bau eines ersten Prototyps für die Datenübertragung des verlorenen Drucksensors.
- Erfolgreiche Testung des Prototyps für Temperaturmessungen und Datenübertragung für begrenzte Reichweiten (RCS).

Projektkoordinierung/Organisation

- Beauftragung TU Bergakademie Freiberg / Vertragsabschluss
- Beauftragung RCS-Technik / Vertragsabschluss

4. Geplante Weiterarbeiten

Fortsetzung des Projektes entsprechend Arbeitsprogramm (Abschnitt 2) mit den Arbeitspaketen 2 - 5.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: TU Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09599 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 E 10457
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen und modelltechnische Beschreibung heterogener Strukturen aus Bindemittel und Zuschlag		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2007 bis 31.03.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 652.391,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Konietzky	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Durch die Beschreibung des strukturellen Aufbaus von Baustoffen sollen modelltechnisch fundierte Rückschlüsse zu den Eigenschaften heterogen strukturierter Baustoffe abgeleitet werden. Exemplarisch werden die für Verschlussbauwerke relevanten Materialien MgO-Beton und Asphalt betrachtet.

Die Beschreibung des Strukturmodells erfolgt durch die Bestimmung der Eigenschaften der Einzelkomponenten, der Kontakteigenschaften sowie der räumlichen Struktur. Das Gesamtverhalten des Systems wird durch Triaxialversuche mit Schädigungsdetektierung, Druck- und Zugversuche sowie Kriechversuche und Bruchzähigkeitsversuche festgestellt. Daraus werden entsprechende Stoffgesetze entwickelt, die mit den Strukturmodellen in Rechenprogramme einfließen.

Die Ergebnisse ermöglichen die Beschreibung des Verformungs- und Bruchverhaltens von Beton (MgO-Beton) und von Asphalt. Dadurch ist eine wissenschaftlich fundierte Optimierung der Baustoffrezepturen und die Entwicklung maßgeschneiderter Baustoffe für langzeitstabile Verschlussbauwerke möglich. Für die Prognose des Langzeitverhaltens von Verschlussbauwerken werden neue Werkzeuge geschaffen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Beschreibung eines Strukturmodells für Asphalt

AP2: Beschreibung eines Strukturmodells für Beton

AP3: Umsetzung der Strukturmodelle in das Rechenprogramm (UDEC, PFC)

AP4: Beschreibung und Steuerung des Langzeitverhaltes von Asphalt

AP5: Beschreibung und Steuerung des Langzeitverhaltes von Beton

AP6: Sensitivitätsuntersuchungen und Optimierungsrechnungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Arbeiten zur automatischen Generierung der Geometrie heterogener Systeme wurden in zwei Richtungen fortgesetzt (AP3.2 mit AP1.1, AP2.1):
 - Packungsmodellierung mittels starrer Kugeln für PFC3D: Entwicklung eines Algorithmus zur Abbildung der Kornformen/-größen des Zuschlagsstoffes, Körner innerhalb der Packung werden als zufällige Clusterungen mehrerer Kugeln erzeugt, wobei eine vorgegebene Korngrößenverteilung (Sieblinie) realisiert wird und zufällige Rotationsellipsoide die Partikelkontur bestimmen. Weitere Verbesserung dieser Korndarstellung wird angestrebt unter Nutzung von Formparametern (CPA-Analyse des Zuschlagsstoffes bereits realisiert).
 - Packungsmodellierung mittels Polyedern für 3DEC: Automatisierung des Generierens von Polyederpackungen beliebiger Größe durch Programmierung eines User-Interface (Grain-Gen), welches dem Benutzer die vorherige separate Erzeugung einer Kugelpackung erspart. Erste Erfahrungen mit diesen Polyederpackungen in 3DEC durch Druckversuch-Simulation (zylinder- und quaderförmige Probekörper, bis 93000 Polyeder). Sowohl bei starren als auch deformierbaren (vernetzten) Polyedern konnten Geometrie-bedingte Stabilitätsprobleme nur teilweise behoben werden (Problem: besonders flache oder spitze Restpolyeder).
- Vorläufiger Versuchsplan für MgO-Beton wurde weitgehend realisiert (AP5.1-AP5.3):
 - Charakterisierung des Zuschlags, mechanische Eigenschaften von MgO-Bindemittel und MgO-Beton), Haftscherversuche; Aufbereitung und Auswertung der Versuchsergebnisse.
- Für Mastix-Asphalt wurde ein vorläufiger Versuchsplan festgelegt und mit ersten Versuchen begonnen (zu AP4.3, AP4.4).
- Vorläufiges Konzept für die numerischen Modelle Asphalt/Beton erstellt (AP1.2, AP2.2), setzt wegen z. T. stabilerer Geometrie-Generierung zunächst auf Simulationen mit PFC3D, mit rechen-technischer Umsetzung begonnen (Methodik zur Erzeugung spannungsarmer Proben für die Simulation erarbeitet, Kalibrierung mit einaxialem Druckversuch begonnen).
- Aufrüstung der technischen Einrichtungen gemäß Versuchsplan, a) Automatisierung der Dauerlast-Versuchsstände: benötigtes Material beschafft, Software entwickelt, b) Bruchzähigkeitsmessplatz: Steuerung fast fertig.
- Arbeitstreffen mit DBE TECHNOLOGY: zur bisherigen und geplanten Vorgehensweise besteht Übereinstimmung, beiderseits Interesse an mittelfristigen Kontakten.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Weiterführung Strukturanalyse/Modellentwicklung Asphalt, Fortschreibung und Detaillierung des Umsetzungskonzepts
- AP2: Weiterführung Strukturanalyse/Modellentwicklung MgO-Beton, Fortschreibung und Detaillierung des Umsetzungskonzepts
- AP3: Weiterführung Routinen zur Mikrostrukturierung, Entwicklung/Test Stoffgesetze
- AP4: Fortführung der Experimente für Asphalt
- AP5: restliche Experimente zum MgO-Beton laut vorläufigem Versuchsplan, Planfortschreibung (Kriechversuche)
- AP6: Auswahl Sensitivitäts- und Optimierungstool, Vorbereitungen zur Kopplung

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Forschungsge- lände, 85748 Garching b. München		Förderkennzeichen: 02 E 10467
Vorhabensbezeichnung: Beschreibung des reaktiven Stofftransports in einem salinaren Endlager mit dem Code TOUGHREACT		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2007 bis 31.12.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 407.850,00 EUR	Projektleiter: Dr. Alkan	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit den vorgeschlagenen Arbeiten soll die gekoppelte Modellierung von hydraulischen, mechanischen, thermischen und chemischen Prozessen für die Beschreibung des reaktiven Stofftransports bei der Endlagerung in Salz- und Tonformationen vorangebracht werden. Für die numerische Umsetzung dieser Modellierung soll der Code TOUGHREACT verwendet werden, da positive Erfahrungen für derartige Anwendungen vorliegen. Der Code soll zu diesem Zweck angepasst, weiter entwickelt und qualifiziert werden. Die Ergebnisse sollen einen Vergleich der beiden Endlagerwirtsgesteine ermöglichen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Erweiterung der thermodynamischen Datenbasis

Die thermodynamische Datenbasis des Codes TOUGHREACT wird, basierend auf der bekannten chemischen EQ3/6 Datenbank, erweitert, qualitätsgesichert und komplettiert. Hier- von betroffen sind insbesondere die Gleichgewichts- und Kinetikkonstanten sowie die Pitzer- Koeffizienten der primären und sekundären Komponenten aller Phasen.

AP2: Numerische Implementation

Für eine korrekte Umsetzung des Codes TOUGHREACT in die gezielten Arbeitspunkte wer- den numerische Weiterentwicklungen und Implementationen geplant. Für diesen Arbeits- punkt werden folgende Arbeiten durchgeführt:

Das vorliegende Pitzer Aktivitätsmodell für die thermodynamische Modellierung hochsalina- rer gesättigter Lösungen wird aktiviert, getestet und validiert.

Die mechanische Konvergenz und Quellung des Bentonits werden an das existierende Modell gekoppelt.

Das ECO2N Zustandsgleichungsmodul des TOUGHREACT wird weiter für eine bessere Modellierung der CO₂- und CH₄-haltigen Laugensysteme entwickelt, getestet und validiert.

In TOUGHREACT implementierten Porositäts- und Permeabilitätsbeziehungen und Kluft- breite-Permeabilitätsmodelle sowie Zweiphasenfluss-Parameter werden, wie relative Permea- bilität und Kapillardruck, auf ihre Funktionalität getestet.

AP3: Validierung mit Labordaten

Die Validierung der oben beschriebenen Modifikationen in TOUGHREACT wird anhand der experimentellen Daten durchgeführt, die eventuellen Abweichungen werden analysiert und überarbeitet.

AP4: Anwendung

Ziel dieses Projektteils ist die Demonstration der Anwendbarkeit der modifizierten TOUGHREACT-Version für realitätsnahe Sicherheitsanalysen von Endlagersystemen anhand eines repräsentativen Modells. Dieses Projektteil wird für Salzgestein und Tonformationen getrennt durchgeführt.

AP5: Dokumentation

Die durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse werden schriftlich dokumentiert.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Folgende Arbeiten wurden gemäß dem Arbeitsplan durchgeführt:

Das „Pitzer Version Package“ wurde als Beta-Version mit entsprechenden EOS Modulen und Beispiel-Eingabedateien zur Verfügung gestellt. Die Beispiele wurden eingearbeitet und getestet. Für die Auslieferung der offiziellen Version und die Beseitigung möglicher Benutzungsprobleme im Rahmen des Projektes wurde einen Termin mit Herr Guoxiang Zhang aus LBNL, Berkeley, USA während seiner Reise nach Niederlande vereinbart.

Die Koppelung des Kompaktionsverhaltens wurde, basierend auf früheren vergleichbaren Arbeiten von ISTec für TOUGH2, in TOUGHREACT realisiert. Die Umsetzung wurde mit generischen Daten getestet und validiert. Testfälle wurden konzipiert und angewendet.

Die Quellung von Bentonit als Versatzmaterial wurde anhand in die Literatur zur Verfügung gestellter physikalischer Modelle numerisch simuliert und mit TOUGHREACT gekoppelt. Für eine endgültige Verwendung dauern die Validierungsarbeiten an.

Es wurden für die Verbesserung und Anpassung des Zustandsgleichungsmoduls ECO2 im Pitzer Version Package parallel Arbeiten durchgeführt. Die entsprechenden Löslichkeitsdaten und physikalische Parameter wie Dichte und Viskosität der unterschiedlichen Lösungen wurden in der Literatur recherchiert und implementiert.

Erweiterung der thermodynamischen Daten: Die in TOUGHREACT implementierte EQ3/6 Database und ihre Erweiterung für das Pitzer-Modell wurden getestet und eingearbeitet. Die fehlenden Pitzer-Koeffizienten wurden ergänzt und bezüglich ihrer Anwendbarkeit untersucht.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Projektarbeiten werden in allen Punkten von AP1, AP2 und AP3 fortgesetzt.

Die Schwierigkeiten, die bei der Benutzung des Pitzer Version Packages aufgetreten sind, sind der Schwerpunkt folgender Arbeiten.

Die Weiterentwicklung des Zustandsgleichungsmoduls ECO2 für die geplante Anwendung im Pitzer Version Package wird auf Grund der aufgetretenen Probleme mit Vorrang bearbeitet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10477
Vorhabensbezeichnung: Restporosität und -permeabilität von kompaktiertem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager, Kurztitel: Repoperm		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2007 bis 31.03.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 153.625,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kröhn	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (HAW) in geologischen Steinsalzformationen sieht die Einbringung verglasteter HAW-Kokillen, teils auch die direkte Endlagerung von 5 m langen Brennstabkokillen in tiefen vertikalen Bohrlöchern und die direkte Endlagerung von Brennelementen in selbstabschirmenden Pollux-Behältern in horizontalen Strecken vor. Einlagerungs-Bohrlöcher und -Strecken werden für den völligen Einschluss der Abfälle im Wirtsgestein mit artgleichem Salzgrusversatz verfüllt. Anhand der bisherigen Ergebnisse kann nicht sicher genug abgeschätzt werden, welcher Kompaktionsgrad und welche Restporosität/-permeabilität erreicht werden, und welche Konsequenzen sich für Langzeitsicherheitsanalysen ergeben.

Es wird ermittelt, welche Prozessabläufe hinsichtlich des vollständigen Einschlusses eine besondere Signifikanz besitzen, und welche experimentellen Daten für verbesserte Systemanalysen bereit zu stellen sind. Ziel ist, die relevanten Prozesse bei der Konsolidierung von Salzversatz zu ermitteln und ein Arbeitsprogramm für die erforderliche Weiterentwicklung von THMC-Modellen für die Langzeitsicherheitsanalyse von HAW-Endlagern bereitzustellen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Bei der Durchführung des Verbundvorhabens werden folgende Arbeitspakete von der GRS bearbeitet:

- AP1: Bestandsaufnahme aller national und international verfügbaren Daten
- AP2: Orientierende THMC-Simulationen der im Nahfeld vorherrschenden gekoppelten Prozesse
- AP3: Auslegungsplanung für ergänzende Laborexperimente bei geringen Porositäten
- AP4: Auslegungsplanung für ein In-situ-Experiment zum Nachweis der langfristig erreichbaren Restporosität und -permeabilität
- AP5: Auswertung und Berichtserstellung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die während des letzten Berichtszeitraums erstellte Datenblattsammlung wurde noch um weitere Daten der BGR ergänzt und im Hinblick auf Vereinheitlichung und Konsistenz hin überarbeitet. Eine Durchsicht aller Datenblätter erfolgte auf der Grundlage der erarbeiteten Kriterien für die Relevanz der Daten für die Projektziele. Dabei wurden diese Kriterien auf jeden erfassten Versuch angewendet. Die abschließende Bewertung erfolgte unter Beteiligung aller Projektpartner und ist in tabellarischer Form zusammengefasst. Die Vorgehensweise, die Bewertungskriterien sowie die Datenblattsammlung und die tabellarische Bewertung sind in einem Zwischenbericht eingegangen, der im Entwurf vorliegt.

Der Zwischenbericht enthält weiterhin eine Zusammenfassung der Aussagen, die sich aus den Daten für die Porositäts-Permeabilitäts-Beziehung und für das Kompaktionsverhalten ableiten lassen. Auch die in den Diskussionen deutlich gewordene Problematik der wachsenden Datenunsicherheit infolge von Messungenauigkeiten bei kleinen Porositäten wird beleuchtet.

Für AP2 wurde vorgesehen, mit der Modellierung der konzeptuell einfacheren ungestörten Entwicklung zu beginnen und erst danach die Komplexität des Modells durch zutretende Salzlösung zu erhöhen. Gerade die hinzukommende Hydraulik wirft Probleme bei der Formulierung der Randbedingungen auf und macht spezielle Vorüberlegungen zum Lösungseintrag notwendig.

Während des Berichtszeitraums fanden drei Treffen mit den Mitgliedern des Verbundprojektes statt, die der Erstellung des Zwischenberichts sowie der gegenseitigen Darstellung des aktuellen Arbeitsstandes dienten.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten werden entsprechend der im Antrag angegebenen Vorgehensweise fortgesetzt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 10487
Vorhabensbezeichnung: Restporosität und -permeabilität von kompaktiertem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager, Kurztitel: Repoperm		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2007 bis 30.09.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 149.212,00 EUR	Projektleiter: Herklotz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Referenzkonzept für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (HAW) in geologischen Steinsalzformationen sieht die Endlagerung verglasteter HAW-Kokillen aus der Wiederaufbereitung in tiefen vertikalen Bohrlöchern vor. In jüngerer Zeit wird auch die direkte Endlagerung von Brennelementen in ca. 5 m langen Brennstabkokillen in tiefen vertikalen Bohrlöchern diskutiert. Diese Einlagerungsbohrlöcher sollen im Hinblick auf den langfristig vollständigen Einschluss der Abfälle im Wirtsgestein mit artgleichem Salzgrusversatz verfüllt werden.

Auf der Grundlage der vorliegenden Kenntnisse und aktuell zur Verfügung stehenden Modelle und Codes soll die Signifikanz einzelner Prozesse im Nahbereich eines HAW-Endlagers im Hinblick auf den vollständigen Einschluss der radioaktiven Abfälle im Wirtsgestein und damit der Langzeitsicherheit des Endlagers (auf der Grundlage der im Projekt ISIBEL aktuell erarbeiteten Ausgangsbasis) weiterführend überprüft werden. Theoretische Stoffansätze für trockenen Salzgrus wurden im Rahmen des BAMBUS-Projektes entwickelt und für Porositätsbereiche zwischen 10 % und 35 % kalibriert. Aufbauend auf bisher vorliegenden Labor- und In-situ-Messergebnissen (TSS, DEBORA) ist es Ziel dieses Vorhabens, ein besseres Verständnis der komplexen Prozesse im Salzgrusversatz zu erlangen und eine belastbare Stoffgesetzanpassung im Bereich sehr geringer (Rest-)Porositäten unter In-situ-Randbedingungen zu erstellen.

Dieses komplexe Thema wird gemeinsam bearbeitet als Verbundprojekt von BGR, GRS und DBE Technology.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das nachfolgende Arbeitsprogramm ist zur Erreichung der Vorhabensziele geplant.

AP1: *Bestandaufnahme aller national und international verfügbarer Daten*
(Bearbeiter: BGR, DBE TEC, GRS)

AP2: Orientierende THMC-Simulationen der im Nahfeld vorherrschenden gekoppelten Prozesse (Bearbeiter: GRS)

AP3: Auslegungsplanung für ergänzende Laborexperimente bei geringen Porositäten (Bearbeiter: BGR)

- AP4: Auslegungsplanung für ein (ggf. zeit-skaliertes) In-situ-Experiment zum Nachweis der langfristig erreichbaren Restporosität und –permeabilität
(Bearbeiter: BGR, DBE TEC, GRS)*
- AP5: Auswertung und Berichterstellung
(Bearbeiter: BGR, DBE TEC, GRS)*

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten zum AP1 abgeschlossen und in einem gemeinsam von BGR, GRS und DBE Technology erstellten Zwischenbericht „Hydraulische und mechanische Eigenschaften von stark kompaktiertem Salzgrus“ dokumentiert. Der Bericht umfasst einen einführenden Teil mit Kriterien für die Bewertung der Labor- und In-situ-Versuche, die die Grenzen des gegenwärtigen Wissensstandes hinsichtlich der Salzgruskompaktion bei geringen Porositäten widerspiegeln, eine Betrachtung der möglichen Fehler bei der Porositätsbestimmung insbesondere bei fortgeschrittener Kompaktion, eine Zusammenfassung der Ergebnisse jeweils für die hydraulischen und die mechanischen Versuche sowie eine Kompilation von Kurzbeschreibungen und Bewertungen der vorhandenen Versuche.

AP4:

Erste orientierende thermo-mechanische Berechnungen wurden mit dem Programmcode FLAC3D (Itasca) zur Auslegung des für Phase II des Projektes geplanten In-situ-Versuches an Teilmodellen durchgeführt. Diese Berechnungen wurden ergänzt durch thermische Analysen eines Einlagerungsfeldes mittels des Programmcodes LINSOUR (DBE), einem analytischen Lösungsverfahren der Wärmetransportdifferentialgleichung. Die Ergebnisse dieser Berechnungen wurden den beteiligten Institutionen während der gemeinsamen Projektsitzungen präsentiert. Darauf aufbauend wurden thermo-mechanisch gekoppelte Berechnungen zur Salzgruskompaktion in einem Einlagerungsbohrloch (speziell im Bereich des Bohrlochverschlusses) unter Variation der Lage des Einlagerungsbohrloches im Einlagerungsfeld sowie der geometrischen Parameter im Bohrlochverschlussbereich durchgeführt.

AP5:

Planmäßig wurden in diesem AP innerhalb des Berichtszeitraumes keine Arbeiten durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Fortführung der Arbeiten ist in Übereinstimmung mit der Vorhabensplanung vorgesehen. Gemäß dem aktuellen Zeitplan ist für das zweite Halbjahr 2008 geplant:

- Zusammenstellung der für die orientierenden Simulationen der AP2 bis AP4 notwendigen Modell- und Stoffparameter anhand der Ergebnisse aus AP1,
- Fortführung der Prognoseberechnungen zur Auslegung des In-situ-Versuches,
- Modellierung des Temperaturfeldes eines langen Bohrloches mittels kurzer (regelbarer) Quelle,
- Ausführungsplanung eines In-situ-Versuches und Erstellen eines Messkonzeptes für den Großversuch.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Die Ergebnisse zu AP1 wurden in einem Zwischenbericht dargestellt (siehe 3./ zu AP1).

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 E 10498
Vorhabensbezeichnung: Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz (Vorprojekt) – Kurztitel: VIRTUS		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2008 bis 30.04.2009	Berichtszeitraum: 01.05.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 177.970,00 EUR	Projektleiter: Dr. Herbert	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Um sicherzustellen, dass die nationalen Kompetenzen zur Errichtung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen und somit zur Entwicklung eines belastbaren Sicherheitsnachweises für die Salzoption beitragen, ist es erforderlich, das in 30 Jahren Untertageforschung im Steinsalz sowie das im Rahmen der internationalen Kooperationen erworbene Wissen zu erhalten. Dafür sollen die bisher in der Untertageforschung zur Salzoption erzielten Ergebnisse in einer zusammenfassenden Dokumentation zusammengetragen werden. Diese soll die Basis eines Virtuellen Deutschen Untertagelabors im Steinsalz (VIRTUS) bilden, das sowohl die numerische Simulation eines Untertagelabors gestattet, als auch über eine Visualisierung der Ergebnisse der Simulationen zu einer Verbesserung des Verständnisses der ablaufenden Prozesse beim forschenden Wissenschaftler und bei der interessierten Öffentlichkeit führt.

Das vorliegende Vorhaben ist ein Verbundprojekt der Partner GRS und BGR. Es stellt ein Vorprojekt dar, in welchem die Realisierbarkeit der gesteckten Ziele geprüft werden und das Hauptprojekt vorbereitet werden soll.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Dokumentation

AP1.1: Vorbereitung der Dokumentation zur Untertageforschung im Steinsalz

AP1.2: Entwurf einer geeigneten Datenbankstruktur

AP2: Definition des virtuellen Untertagelabors

AP2.1: Festlegung eines generischen geologischen Aufbaus (nur BGR)

AP2.2: Festlegung der URL-Auslegung

AP2.3: Festlegung von Experimenten und von Modell- bzw. Modellierungsdetails

AP2.4: Vorbereitung der Software-Entwicklung

AP3: Entwicklung des Arbeitsprogramms für das Hauptprojekt

AP4: Vorbereitung und nationale Abstimmung der Beteiligung an einem europäischen URL-Netzwerk

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In gemeinsamen Projektgesprächen haben die Kooperationspartner bisher folgende Festlegungen getroffen:

- Für die Visualisierung der Ergebnisse der Prozessmodellierungen werden folgende Codes betrachtet:
 - Code Bright
 - Jife
 - Rockflow.
- Die Informationen sind zu spezifizieren, die aus der zu erstellenden Datenbank später ausgegeben werden sollen und zwar:
 - wirtsgesteinsspezifisch
 - codespezifisch
 - parameterspezifisch.
 Wünschenswert ist die Ausgabe fertiger "Parameterdateien" für o. g. Codes.
- Als Visualierungssoftware haben sich die Partner vorläufig auf OpenGeo geeinigt.
- In Vorbereitung der Dokumentation der URL-Forschung wurden erste Literaturlisten zusammengestellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Für o. g. Rechenprogramme sollen Listen der relevanten Parameter bzw. Parameterfunktionen erstellt und auf Vollständigkeit bzw. hinsichtlich der Verfügbarkeit belastbarer Parameterwerte überprüft werden.
- Die erforderlichen Arbeiten, die für die Visualisierung der Ergebnisse geomechanischer, hydraulischer und geochemischer Modellrechnungen mit o. g. Programmen durchzuführen sind, werden definiert.
- Einer Liste mit Leitexperimenten, die für die Option Salz noch erforderlich sind, wird erstellt. Sie ist Voraussetzung für die Erarbeitung eines generischen geologischen und geometrischen Modells für das virtuelle Untertagelabor.
- Auf der Basis der Parameter, die für die Modellrechnungen mit o. g. Codes gebraucht werden, wird die Struktur einer Datenbank für die Modellierung der Prozesse in einem Endlager im Salz entworfen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		Förderkennzeichen: 02 E 10508
Vorhabensbezeichnung: Machbarkeitsstudie zur Vorbereitung eines 2-Bohrloch-Erhitzerversuches im URL Mont Terri, Schweiz „MACH-2“		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2008 bis 30.04.2009	Berichtszeitraum: 01.05.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 111.291,00 EUR	Projektleiter: Jobmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen von Auslegungsberechnungen zur Planung eines Endlagers in einer Tonformation in Deutschland wurde ein Einlagerungs- und Barrierenkonzept entwickelt, das es ermöglicht, auch stark wärmeentwickelnde Abfälle mit brauchbaren Zwischenlagerzeiten in Tonformationen einzulagern. Das Konzept beruht auf der Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle in vertikalen Bohrlöchern, die je nach Behältertyp einen definierten Abstand zueinander haben. Dieses Einlagerungs- und Barrierenkonzept soll in-situ unter realitätsnahen Bedingungen getestet werden.

Ziel dieses Vorhabens ist es daher, die Machbarkeit eines 2-Bohrloch-Erhitzerversuches im Maßstab 1:1 hinsichtlich technisch-wissenschaftlicher Aspekte im Mont Terri URL zu untersuchen. Dabei soll aufgezeigt werden, unter welchen Bedingungen die Realisierung eines solchen Demonstrationsversuches zur Einlagerung in vertikalen Bohrlöchern machbar ist. Eine detaillierte Versuchsplanung, ein Mess- und Instrumentierungskonzept und eine Zeit- und Kostenschätzung auf Basis konkreter Angebote ausgewählter externer Firmen sollen die Grundlage für die Bewertung der Durchführbarkeit des Versuches bilden.

Ein solcher In-situ-Versuch könnte im Mont Terri URL durchgeführt werden. Im Laufe des Jahres 2008 wird dort ein neuer Versuchsstollen inklusive einiger Experimentiernischen aufgefahren. Eine geeignete Experimentiernische könnte im Rahmen dieser Arbeiten für den in-situ Versuch aufgefahren werden. Der Versuch soll als 2-Bohrloch-Erhitzerversuch konzipiert werden und die Möglichkeit bieten, das Einlagerungs- und Barrierekonzept in-situ erstmalig zu testen und die bisherige Auslegung zu validieren. Die derzeitige Versuchsidee sieht vor, zwei vertikale Einlagerungsbohrlöcher mit zwei Dummykokillen (elektr. Erhitzer) zu bestücken und diese gemäß dem Barrierenkonzept zu versiegeln. Der Versuch soll mit ausreichend Sensorik bestückt werden, um die gegenseitige THM-Wechselwirkung beider Einlagerungsbohrlöcher in der geotechnischen Barriere und im Wirtsgestein zu beobachten und durch begleitende numerische Berechnungen zu analysieren.

Diese Studie wird in Kooperation mit der GRS Braunschweig durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Designberechnungen

AP2: Instrumentierungskonzept

AP3: Planungsunterlagen und Berichtserstellung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1:

Eine wesentliche Grundlage für die Versuchskonzeption bilden Designberechnungen. Diese dienen zur Bestimmung einer zweckmäßigen Versuchskonfiguration, um im Versuchszeitraum aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen. Ein wesentlicher Punkt in dem Zusammenhang ist der Abstand der Versuchsbohrungen zueinander. Er bestimmt die Stärke der THM-Wechselwirkung und sollte so gewählt werden, dass die in einem realen Endlager zu erwartenden Effekte auch im Rahmen des zur Verfügung stehenden Versuchszeitraumes messbar und damit analysierbar und bewertbar sind. Diese Designberechnungen dienen auch dazu, sinnvolle Sensorpositionen zu bestimmen, die notwendigen Messbereiche und Auflösungsvermögen zu bestimmen, um aussagefähige Messergebnisse erzielen zu können.

Im Berichtszeitraum wurde ein geometrisches numerisches Modell erstellt, vernetzt und erfolgreich getestet. Die Modellgeometrie und ihre Vernetzung wurden derart realisiert bzw. parametrisiert, dass Änderungen an der Geometrie (Veränderung des Abstandes der Bohrungen) einfach durchzuführen sind. Nach Zusammenstellung aller notwendigen Modellparameter wurden erste rein thermische Simulationen durchgeführt, um zunächst die thermische Überlagerung zu untersuchen.

Entscheidend für die realitätsnahe Durchführung des Versuches ist die einzusetzende Erhitzerleistung der Dummybehälter. Nach bisherigem Einlagerungskonzept wird davon ausgegangen, dass eine maximale Temperatur von 100 °C in der geotechnischen Barriere nicht überschritten werden soll. Die Erhitzerleistung muss also so gewählt werden, dass unter Berücksichtigung der Wärmeleitfähigkeiten des Tonsteins und der eingesetzten Barrierematerialien die Temperatur in der Barriere dieses Limit nicht überschreitet. Die im Berichtszeitraum durchgeführten thermischen Berechnungen deuten darauf hin, dass Leistungen im Bereich von 700 - 1100 kW für die elektrischen Erhitzer benötigt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Fortführung der Designberechnungen unter Einbeziehung hydraulischer und mechanischer Aspekte zur Festlegung des Bohrlochabstandes für den Versuch.

AP2: Erstellung eines detaillierten Mess- und Instrumentierungskonzeptes auf Basis der Designberechnungen, um den technischen und finanziellen Aufwand abschätzen zu können. Dies geschieht in enger Abstimmung mit dem Projektpartner GRS. Es werden potenzielle Lieferfirmen gesucht und entsprechende Angebote eingeholt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

2.2 C-Vorhaben

Zuwendungsempfänger: Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstr. 12, 76131 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: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2002 bis 28.02.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.226.844,00 EUR	Projektleiter: Dr. Schumann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Geotechnische Barrieren (Schacht-, Strecken- und Bohrlochverschlüsse) in UTD sind als nachweislich langzeitstabile Verschlussbauwerke auszubilden. 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: Untersuchung der Materialien für die Dicht- (DS) und Äquipotenzialsegmente (ÄS)
 AP3: Modellierung der Vorgänge im Verschluss
 AP4: Halbtechnischer Versuch, Durchführung und Bewertung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Materialuntersuchung im ÄS und DS

Mischung 1000: Auf Basis der vorangegangenen Erkenntnisse wurde ein optimiertes Material designed, 33 % N45 als Gerüst, 17 % Kalk, 42 % FS700 sowie 8 % Argintec. Der im letzten Jahr gestartete Versuch erreichte bereits zum Jahresende 2007 (nach ca. 200 Tagen) die 3 m-Marke. Um ein Reifestadium zu erreichen wurde er bis Ende April 2008 fortgesetzt. Der Versuch wurde abgebaut und beprobt.

Andere Proben im Steigversuch: Es wurden weitere Proben der parallel verlaufenden Versuche abgebaut. Lediglich die synthetischen Materialien werden noch zum „reifen“ belassen. Es wurde Platz für einen neuen Variogramm-Versuchs auf Basis des M-1000 geschaffen.

Variogramm M-1000: Es wurden insgesamt 9 Rohre mit der Mischung M1000 gefüllt und im Februar 2008 gestartet. 2 Säulen wurden vorsichtig in Schräglage befüllt, um ein Entmischen beim Befüllvorgang zu vermeiden. 3 weitere Säulen wurden standardmäßig befüllt. Diese 5 Säulen wurden mit VE-Wasser gestartet. Daneben wurden noch 2 weitere Säulen schräg befüllt und mit Lauge beaufschlagt und eine weitere mit Lauge nach Standardbefüllung. Eine weitere Standardröhre wurde oben luftdicht verschlossen und mit VE-Wasser gestartet. Das kapillare Steigen ist in den schräg befüllten Rohren ein wenig schneller. Durch die schräge Befüllung wird eine Entmischung besser vermieden als beim senkrechten Einschütten des Materials. Beim Letzteren führt dies zu einem Gradienten der Korngrößen Verteilung (grob unten zu fein oben). Das erklärt auch, warum diese anfangs etwas schneller laufen, dann aber am Ende etwas durch die inhomogenere Saugspannung einbüßen. Dieser Effekt ist bei der Lauge nicht erkennbar. Das oben verschlossene Rohr zeigt anfangs ein stark verzögertes Steigen, holt aber später auf. Es ist eine Öffnung entstanden, welche die Luft entweichen ließ. Zusammenfassend wird bestätigt, dass das Material M1000 die bisher besten Eigenschaften der getesteten Materialien besitzt und reproduzierbare Messwerte liefert.

HTV-2: Die schonende Trocknung aller Proben wurde abgeschlossen. Die mineralogische Charakterisierung läuft. Um einen Überblick über die ablaufenden Prozesse während der Hydratation im System zu gewinnen, wurden einzelne Ebenen aus den DS und den ÄS zur Analyse ausgewählt. Die Ebene 3 im DS 3 wurde als Referenz des nicht durch Salzlauge beeinflussten Bentonits gewählt. Für die Bilanzierung der Transport-, Austausch- und Lösungsprozesse wurde über die Leitfähigkeit die Salzkonzentration in jeder Ebene bestimmt. Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- in der überstehenden Lösung werden mittels Ionenchromatographie bestimmt. An einer Parallelprobe wurde die Kationenaustauschkapazität mittels Cu-Trien gemessen und die ausgetauschten Ionen mittels ICP-OES bestimmt. Inzwischen wurde die Ursache für die scheinbar niedrigeren KAK-Werte im Bentonit nach Durchströmung mit Salzlauge geklärt. Hierbei handelt es sich um einen Feststoffverdünnungseffekt durch das zutretende Salz. Für die Ebene 21 wurde eine mittlere KAK von 58 meq/100 g gemessen. Bei einem Halitgehalt von 9 % ergibt sich somit für den Bentonit eine KAK von 63 meq/100 g, was der KAK des eingesetzten Calcigels am Versuchsanfang entspricht. Anhand der bestimmten austauschbaren Kationen wurde im DS1 Ca und deutlich Mg durch Na in den Zwischenschichten ersetzt. Um dieses Ergebnis zu verifizieren, werden 6 ausgewählte Proben jeder Ebene zur Entfernung des überschüssigen Salzes dialysiert und anschließend nochmals in Bezug auf den Austauscherbelag untersucht. Dabei stellten wir fest, dass der Mg-Gehalt im DS1 tatsächlich abgenommen hat, während das Ca nicht irreversible durch Na ersetzt wurde. Es ist zu klären, wie viel Calcit während der Dialyse in Lösung ging, was zu einem möglichen Rücktausch von Na gegen Ca geführt haben kann. Erste Untersuchungen im DS2 zeigen eine Anreicherung des Mg zum Zeitpunkt des Versuchsendes in diesem Dichtsegment.

Zur Bilanzierung der Mineralgehalte nach Salzdurchströmung und Dialyse wird der quantitative Phasenbestand mittels Röntgenbeugungsanalyse und Rietveld-Analyse sowie STA bestimmt.

AP4: Halbtechnischer Versuch, Durchführung und Bewertung

HTV3: Der im November 2007 gestartete HTV-3 sollte schnell auf hohe Druckbeaufschlagung gefahren und zusätzlich mit hohen Druckpulsen belastet werden, um ein mögliches Versagenszenario zu simulieren. Am 13.12.2007 betrug der Druck bereits 100 bar, die seither kontinuierlich anliegen. Die anfänglichen Druckstöße wurden, trotz leichter Wegigkeiten entlang der Sensoren, vom Verschluss-System aufgenommen und gepuffert. Bis Anfang 2008 war die Schichtenfolge bis einschließlich Sensor 7 (DS1, ÄS1, DS2, ÄS2a, ÄS2b) komplett durchfeuchtet, was durch den hohen anliegenden Druck und die eingebauten Sandlinsen in DS1 und DS2 begünstigt wurde. In DS3 hat sich die Entwicklung durch die mittlerweile nur noch geringe Einströmung des Fluids verlangsamt. Bis Ende Juni 2008 zeigt Sensor 8 noch keine vollständige Durchfeuchtung in der Grenzschicht DS3/ÄS3a an. Sensor 9 in der Grenzschicht ÄS3a/ÄS3b beginnt zu reagieren. Sensor 10 (ÄS3b/DS4) zeigt den üblichen Druckanstieg durch den anliegenden Flüssigkeits- und Quelldruck an, der auch durch den Druckgeber am Deckel registriert wird. Die Sensoren 11 und 12 haben mittlerweile vergleichbare Signalverläufe und zeigen damit ein nahezu homogenes Vordringen der Feuchtefront an. Die lange Betriebszeit bei 100 bar anliegendem Druck und entsprechender Kontaktzeit Lauge-Bentonit soll weitere Erkenntnisse über die Umwandlung des Bentonits bringen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der HTV-3 wird weiter geführt, um möglichst lange Kontaktzeiten Bentonit/Lauge sicherzustellen und die Funktion der geometrisch reduzierten Systemelemente zu belegen. Die Materialtests werden ausgewertet, ebenso der HTV-2.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Auf der Homepage (www.untertageverschluss.de) ist ein ausführlicherer Sachstandsbericht dazu eingestellt. Publikationen:

Moisture spreading in a multi-layer hydraulic sealing system (HTV-1), (Franz Königer, Katja Emmerich, Gerhard Kemper, Matthias Gruner, Wolfgang Gaßner, Rolf Nüesch, Rainer Schuhmann) in *Engineering Geology* (2008), 98, 41-49.

Saturation process and bentonite transformation in a multi-layer hydraulic sealing system (HTV-1) exposed to rock salt brine, (Katja Emmerich, Gerhard Kemper, Franz Königer, Stefan Schlaeger, Matthias Gruner, Wolfgang Gaßner, Martin Hofmann, Rolf Nüesch (†), Rainer Schuhmann) wurde überarbeitet und erneut zur Publikation in *Vadose Zone Journal* eingereicht.

Material development for equipotential layers of multi-layer hydraulic sealing systems, (Gerhard Kemper, Franz Königer, Rainer Schuhmann, Katja Emmerich) soll demnächst bei *Applied Clay Science* eingereicht werden.

Zuwendungsempfänger: TU-Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 A, 38678 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: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2002 bis 31.03.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 31.03.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 900.398,00 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 einer Gasphase und über die Prozessformen, die dieses Verhalten steuern erarbeitet werden.

Im experimentellen Programm werden laborative Messungen der Gaspermeation an ungestörten Salzkernen und Untersuchungen der Kapillar- und Gasperrdrücke an Salzpresslingen und Sandsteinreferenzmaterial zur Korrelation der Prozessabläufe mit dilatant aufgelockerten Salzkernen in Anwesenheit einer Restlauge durchgeführt werden. In-situ-Gasinfiltation- und Gasfrac-Versuche zur Bestimmung des Druckaufbaus (Sperr- bzw. Fracdruck und Messungen des Gastransports 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:

AP1.1: Kapillar- und Gasperrdruckmessungen

1.2: Gaspermeationstests

1.3: Triaxuntersuchungen

1.4: Gasfrac-Untersuchungen

AP2.1: Gasinfiltationstests in der Grube Bernburg

2.2: Gasfrac-Versuche in der Grube Bernburg

2.3: Akustische Messungen

AP3.1: Modellierung der Permeationstests

3.2: Modellierung des gesteinsmechanischen und pneumatischen Zustandes

AP4: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Fortführung der Triaxialversuche bei denen abwechselnd Hexan, Stickstoff und Salzlösung als strömendes Medium verwendet wird um einen direkten Vergleich der Fluide zu ermöglichen.
- Gasdruckerhöhung in Stufen im in-situ Versuch Bernburg mit anschließendem Frac bei 14 MPa Gasdruck, Bestimmung der Permeabilität aus dem Abströmverhalten
- Refracversuch durch Erhöhung des Gasdruckes auf 12 MPa beim in-situ Langzeitdrucktest in der Grube Bernburg.

- Druckerhöhung in Stufen mit Salzlösung als Fluid.
- Fortführung der akustischen Emissionsmessungen in der Grube Bernburg.
- Zusammenfassung der Forschungsergebnisse in einem Abschlussbericht

Bei den durchgeführten Laborexperimenten hat sich gezeigt, dass der Einfluss des Porendruckes auf das Permeationsverhalten von entscheidender Bedeutung ist. Bei Hexan ist die Abhängigkeit zwischen der Wirksamkeit des Porendruckes und der im Kern induzierten Schädigung deutlicher ausgeprägt als bei Gas. Daraus ist für Gas und Hexan als Strömungsmedium ein schädigungsabhängiger Biot-Parameter entwickelt worden, der den Einfluss des Gasdruckes in Abhängigkeit von der dilatanten Schädigung beschreibt. Die Messungen mit Hexan, Stickstoff und Salzlösung als Strömungsmedien zeigen, dass keine signifikanten Unterschiede beim Fluidtransport zwischen einem Gas und einer dem Salz gegenüber inerten Flüssigkeit bestehen und deuten auch darauf hin, dass ein im Prinzip reaktives Strömungsmedium wie Salzlösung sich in der Anfangsphase ähnlich verhält. Längerfristig kommt es bei Salzlösung jedoch meistens zu einer starken Änderung der Permeabilität. Hierbei gibt es zwei gegensätzliche Effekte, Auflösungserscheinungen und vermutlich Verstopfungen aufgrund von Ausfällungen, die die Permeabilität um über drei Größenordnungen ändern können. Eine Vorhersage, welcher der beiden Mechanismen der dominierende ist, kann kurzfristig nicht getätigt werden, jedoch zeigen die Versuche, dass es bei NaCl-Lösung als Fluid langfristig zu einem Rückgang der Permeabilität kommt.

Beim In-situ-Versuch in Bernburg ist es durch die stufenweise Erhöhung des Gasdruckes bis 14 MPa jeweils zu einem druckbedingten Anstieg der Abströmraten gekommen. Nach kurzer Standzeit bei 14 MPa Gasdruck hat ein diskontinuierliches Abströmen des Gases über die Formation stattgefunden, wobei sich der Gasdruck auf einem Druckniveau von ca. 10,5 MPa wieder stabilisiert hat, d. h. die ursprüngliche Dichtigkeit vor dem Gasdurchbruch hat sich zumindest teilweise wieder hergestellt. Der gemessene Gasauftreibdruck liegt mit 14 MPa deutlich über der mit Hydrofrac bestimmten Gebirgsspannung von 13 MPa, ohne dass es während des Gasdurchbruches Hinweise auf einen singulären Riss im Sinne eines Gasfracszenario, z. B. durch eine erhöhte mikro-seismische Aktivität, gegeben hat. Diese pneumatische Zugfestigkeit wird im Labor nicht beobachtet und die Effekte der Permeabilitätszunahme sind mit kleiner 4 vier Dekaden deutlich geringer als nach dem Ergebnis der Laboruntersuchungen zu erwarten wäre. Als Mechanismus für das aufgetretene Ereignis wird eine integrale Permeation infolge druckinduzierter Aufweitung vorhandener Fließwege in Richtung geologischer Inhomogenitäten angesehen. Die Ausdehnung der gasdruckbeeinflussten Zone beim Gasdurchbruch liegt infolge des begrenzten Gasvolumens der Untersuchungsbohrung im Meterbereich, wobei die bisher zur Berechnung der integralen Permeabilität verwendeten rotationssymmetrischen Transportmodelle die realen Abströmverhältnisse mit inhomogener Gasausbreitung unzureichend beschreiben.

Nach der Entspannung des Bohrloches auf 1 MPa, wurde kein Rückströmen von Gas beobachtet. Bei der erneuten stufenweisen Gasdruckbelastung sind die gemessenen Abströmraten geringer als im 1. Zyklus, mutmaßlich als Folge der bereits im Gebirge vorliegenden Gasdruckbelastung.

Ein Wechsel des Mediums von Stickstoff auf Salzlösung mit anschließender Druckerhöhung in Stufen führte zu folgenden Ergebnissen:

- Die Kompressibilität des Messsystems beträgt ca. 1,6 GPa, vergleichbar zu früheren Bohrlochtests, aber wegen der aufgelockerten Bohrlochkontur niedriger als ein ideales System bzw. größeres Volumen (Kaverne).
- Zuverlässige Druckbeobachtungen sind nur in Langzeittests möglich.
- Druckstufe bei ca. 70 bar: stetiger Druckabfall, vermutlich durch Aufsättigung der aufgelockerten Bohrlochkontur, d. h. kapillare Gassperrdrücke < 70 bar.
- Druckstufen 100 bar bzw. 120 bar: transientes Verhalten, wobei nach ca. 30 Tagen bzw. ca. 10 bar Druckabfall ein Plateau erreicht wird bzw. der Druck mit konstanter Rate abfällt, was auf ein quasi-stationäres Abströmen ins Gebirge heindeutet.
- Bei der Druckstufe mit 125 bar wird infolge Annäherung an den Gebirgsdruck (σ_{\min} ca. 13 MPa) eine geringfügig erhöhte Abströmraten erreicht.

Die geringen Druckabfallraten von wenigen ml/Tag deuten eine Permeabilität < 10^{-21} m² an. Somit ist die hydraulische Integrität nach dem Gasdurchschlag wieder hergestellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt wurde am 31.03.2008 beendet.

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 31.10.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 580.968,00 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

AP1: Literaturrecherche

AP2: Physikalisch-chemische Eigenschaften Si/Al-haltiger Lösungen

AP3: Löslichkeit einfacher Silikate und Aluminate

AP4: Parameterberechnung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Mit der Bestimmung der Löslichkeiten von amorpher Kieselsäure bei Temperatur zwischen 30 °C und 90 °C konnte zunächst abgeschlossen werden. Bei den Nachmessungen wurde festgestellt, dass für eine Reihe von Messungen der Standard sich verschoben hatte, so dass diese Messungen wiederholt werden müssen.

Es handelt sich hauptsächlich um die binären Systeme bei 45 °C:

- NaCl-H₂O-H₄SiO₄, CaCl₂-H₂O-H₄SiO₄,

Bei den ternären ebenfalls bei 45 °C handelt es sich um:

- NaCl-KCl-H₂O-H₄SiO₄, NaCl-CaCl₂-H₂O-H₄SiO₄

In dem vergangenen Berichtszeitraum wurde mit den isopiesticen Versuchen der Al-Systeme begonnen. Die Versuche bei 45 °C werden in einem Wasserbecken, entsprechend den Versuchen bei 25 °C, durchgeführt. Es wurden bereits 4 Töpfe ausgewogen, wobei es sich um jeweils einen doppelten Ansatz handelt.

Es wurden die folgenden Systeme betrachtet:

- Al-Na-Cl-H₂O (Na: 0,3 - 0,8; Al: 0,05 – 0,5)
- Al-K-Cl-H₂O (K: 0,3 - 0,6; Al: 0,05 – 0,5)
- Al-Na-SO₄-H₂O (Na: 0,3 – 0,6; Al: 0,05 – 0,5)
- Al-K-SO₄-H₂O (K: 0,3 - 0,6; Al: 0,05 – 0,5)

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Eine Darstellung der Ergebnisse der Literaturrecherche erfolgt im Abschlussbericht.

AP2: In dem kommenden Zeitraum sollen die Arbeiten bezüglich Al(OH)₃/AlCl₃ im pH-Bereich > 9 in den Systemen NaCl-H₂O, KCl-H₂O, CaCl₂-H₂O, Na₂SO₄-H₂O und K₂SO₄-H₂O zu Ende geführt werden.

AP3: Die Löslichkeitsversuche an ausgewählten Silikaten, Aluminaten und Alumosilikaten werden in verschiedenen Salzlösungen bei unterschiedlichen Temperaturen (bis 90 °C) bis zum Ende der Projektlaufzeit fortgeführt.

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: Materialforschungs- und prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Coudraystraße 9, 99423 Weimar		Förderkennzeichen: 02 C 1064
Vorhabensbezeichnung: Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichte- teverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Weiterentwicklung von Endlager- und Untertagedeponienkonzeptionen unter Sicherheits Gesichtspunkten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2004 bis 28.02.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 603.656,00 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 Bentonitdichteelementen. 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 an Verschlussbauwerken im Carnallitit (Teutschenthal, Projekt CARLA FKZ 02C1204). Eine Anpassung des Vorhabens an das Projekt CARLA erfolgt durch Erweiterung der Untersuchungen um die Arbeitspakete AP10 und AP11 (Aufstockung und Verlängerung des Vorhabens).

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: Numerische Simulation der Feuchteausbreitung
- AP9: Konzeption und Entwurf eines Messgerätesystems für den Untertageeinsatz zur quantitativen Bewertung von Feuchte- und Dichteprofilen
- AP10: Entwicklung und Erprobung eines Messgerätesystems zur qualitativen Bestimmung von Feuchteprofilen in einem Verschlussbauwerk; Erarbeitung und Erprobung von Simulations- und Rekonstruktionsalgorithmen
- AP11: Entwurf eines Messsystems zur quantitativen Bewertung von Feuchte- und Dichteprofilen für den Einsatz in Verschlussbauwerken im Projekt CARLA (FKZ 02C1024), Einbau der Messsysteme in die Versuche KV1, GV1, GV2 und Auswertung der Versuchsergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP10: Die Erarbeitung und Erprobung von Simulations- und Rekonstruktionsalgorithmen aus den theoretischen Betrachtungen zum dielektrischen Verhalten von verlustbehafteten Stoffgemischen und zu den Schichtenmodellen (AP1/AP2/AP4/AP5) wurden fortgeführt. Der Einfluss der Ionenleitfähigkeit des umgebenden Materials auf die Impulsantwort des TDR-Signals bei der Rekonstruktion der orts aufgelösten Feuchteverteilung entlang der Messleitung wurde weiter theoretisch und praktisch untersucht. Dazu wurden die dielektrischen Eigenschaften von aushärtenden MgO-Beton mit einer koaxialen Messleitung laufend gemessen und die Werte des ausgehärteten Betons (28 Tage nach Einbringen des Betons in die Messleitung) als Basis für die Simulation in einem neu gestalteten HFSS-Modell genutzt. Die Ergebnisse der Simulationen dienen der Verbesserung und Überprüfung der an der MFPA entwickelten Simulations- und Rekonstruktionsalgorithmen zur orts aufgelösten Feuchtebestimmung in stark verlustbehafteten Materialien.

AP11: Folgende Arbeiten wurden im Rahmen des Projekts CARLA durchgeführt:

- Auswertung MFPA-Versuch KV1: Am 07.11.2007 erfolgte eine erste Druckbeaufschlagung mit Lauge. Die Fließwege der Lauge innerhalb des Bauwerkes konnten mit dem TDR-Messsystem aufgezeigt werden. Nach Abschalten der Druckbeaufschlagung wurde die langsame Feuchteänderung entlang der Fließwege orts aufgelöst registriert. Weitere Druckbeaufschlagungen erfolgten am 15.01.2008 und am 07.04.2008. Auch hier konnten die Laugenzutritte innerhalb des Bauwerkes detektiert und mit den sichtbaren Austrittsstellen der Lauge an der Luftseite des Bauwerkes in Korrelation gebracht werden. Die Feuchteänderungen nach den Druckbeaufschlagungen wurden kontinuierlich erfasst und ausgewertet. Weitere geplante Versuche seitens der TU BA Freiberg am MFPA-Versuchsbauwerk hinsichtlich der Wirksamkeit von Injektionen mit 2K-Bitumen und/oder mit dem Kunstharz Denepox 40 zur Abdichtung der Kontaktzone zwischen Bauwerk und Gebirge werden von der MFPA auch weiterhin messtechnisch begleitet.
- Auswertung Großversuch GV1: Eine Druckbeaufschlagung ist noch nicht erfolgt. Nach Permeabilitätsuntersuchungen mit Lauge, die von der IBeWa Freiberg in der Auflockerungszone an der Luftseite des Verschlussbauwerkes durchgeführt wurden, konnte das Eindringen von Lauge in die Kontaktzone zwischen Bauwerk und Gebirge mit dem TDR-Messsystem orts aufgelöst und zeitgenau detektiert werden.
- Auswertung Großversuch GV2: Das Verschlussbauwerk, das in Spritzbetontechnologie hergestellt wird, befindet sich noch im Bau. Die TDR-Kabelsensoren, die in Vorversuchen auf ihre Spritzbetontauglichkeit überprüft wurden, sind im Bauwerk eingebaut. Das Anschließen der Messkabel an die Steuerelektronik erfolgt aus bautechnischen Gründen erst nach Fertigstellung des Verschlussbauwerkes.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der theoretischen Betrachtungen zum dielektrischen Verhalten von Stoffgemischen (verlustbehaftetes 3-Stoffe-Modell) längs der TDR-Messleitung (Schichtenmodell) für die Erstellung praxisrelevanter Rekonstruktionsalgorithmen von Feuchte- und Dichteprofilen, insbesondere unter Berücksichtigung der hohen Ionenleitfähigkeit im Salinar (AP10).
- Auswertung der TDR-Messergebnisse von den Großversuchen GV1 und GV2 sowie vom MFPA-Versuch KV1 (AP11).
- Entwurf des Abschlussberichtes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Wilsnack, T.: Hydraulische Modellierung von Szenarien unter den Bedingungen von Hartgestein und Salzgestein; Feuchteausbreitung im Dichtmaterial und Umströmung des Dichtbauwerkes mit messtechnisch ermittelten Feuchteverteilungen. Abschlussbericht, Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser- und Deponietechnik (IBeWa), Freiberg (2008)

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover		Förderkennzeichen: 02 C 1074
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2004 bis 31.08.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 443.185,00 EUR	Projektleiter: Eisenburger	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die erhöhte Anforderung, umweltbelastende Stoffe sicher zu lagern, erfordert die Errichtung sicherer untertägiger Deponien. Aufgrund der begrenzten Sicherheit technischer Barrieren, ist es wichtig natürliche geologische Barrieren zu finden, die langfristig sicherer sein können.

In diesem FV soll eine neue Radar-Bohrlochsonde entwickelt werden, mit der aus einer allein stehenden Bohrung räumliche Informationen über das anliegende Gebirge gewonnen werden.

Die Entwicklung geht von einem bekannten Bohrlochsystem aus. Zuerst werden die HF-Komponenten (Sende- und Empfangsantenne) auf die Möglichkeit ihrer Verbesserung untersucht, um anschließend neue Radarverfahren auf ihre Eignung als richtungssensitives Bohrlochmessverfahren zu untersuchen. Weiterhin wird durch verbesserte Algorithmen eine schnelle Verarbeitung der Messdaten angestrebt.

Der wirtschaftliche Nutzen ergibt sich für deutsche Unternehmen, indem sie dieses Messverfahren und System nutzen, um in Deutschland oder weltweit Serviceleistungen zu erbringen, die bei Problemen der Erkundung und Bewertung untertägiger Deponien für umweltsensible Stoffe notwendig werden.

Das Forschungsvorhaben ist ein Verbundvorhaben in dem die

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Fachgruppe Geophysikalische Forschung, Ref. Geophysik für das Ressourcenmanagement.
- Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Wuppertal
- Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen Monitoring und Geomesssysteme, Mines and More Division

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Verbundvorhaben gliedert sich in drei Teilvorhaben, die von den angeführten Institutionen in eigener Verantwortung durchgeführt werden.

TVI: „Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems“; Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Wuppertal

TVII: „Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit“; Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen

TVIII: „Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten“; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Das Untersuchungsprogramm für das Teilvorhaben „Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten“ beinhaltet zwei Arbeitspakete:

AP1: Vereinheitlichung und Neustrukturierung des EMR-Auswertesystems der BGR

AP2: Aussagemöglichkeiten der EMR-Messungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten in diesem halben Jahr sind geprägt durch das nahende Projektende. Die Auswertesoftware und Steuersoftware mussten auf Fehler und Tolleranzen untersucht werden. Vor allem die Steuersoftware für die DABOR-Sonde musste so gestaltet werden damit alle Funktionalitäten der Sonde überprüft werden konnten und ein fehlerfreier Messablauf gewährleistet wird.

Der Schwerpunkt der Arbeiten lag auch in diesem Zeitraum auf der Untersuchung inwieweit sich Neuronale Netze für die Erkennung von unterschiedlichen geologischen Strukturen anhand von Georadaraufnahmen eignen. Dabei wurden eine Vielzahl von Parametern des Netzes, Aufbereitungsmöglichkeiten für die Daten sowie eine große Zahl aus den Daten ableitbarer Merkmale betrachtet.

Die Ergebnisse zeigen, dass Neuronale Netze grundsätzlich in der Lage sind, geologische Strukturen anhand von Georadarsignalen zu unterscheiden und verschiedenen Klassen zuzuordnen. Dabei stellte sich eine starke Abhängigkeit der Ergebnisse von:

1. der Struktur des Neuronalen Netzes
2. dem Trainingsverfahren
3. den als Eingabe genutzten Merkmalen
4. dem Aufbau des Trainingsdatensatzes

heraus.

Grundsätzlich erzielten kleine zweischichtige Neuronale Netze mit vier bis dreizehn Neuronen in der versteckten Schicht die besten Ergebnisse, wobei sich Resilient Propagation als das geeignetste Trainingsverfahren herausstellte.

Als neuronaler Netzwerksimulator wurde der der Uni Stuttgart (SNNS) in einer Java Variante (JNNS) verwendet.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fehleranalyse des Auswertesystems und Behebung dieser.
- Abschließende Arbeiten zur Verbesserung der Kontrolle und Steuerung der Funktionalitäten der DABOR-Sonde
- Abschließende Arbeiten hinsichtlich der Untersuchung zusätzlicher Attribute zur Charakterisierung von Radarsignalen.
- Abschließender Test in einer vertikalen Bohrung im Werk Sigmundhall der K+S AG.

5. Berichte, Veröffentlichungen

„Recognition of Patterns from Geological Structures in Radar Signals with the Neuronal Network Simulator JNNS“ Vortrag auf der Tagung ICUWB (International Conference on Ultra wideband) 2008, Hannover

Zuwendungsempfänger: Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal		Förderkennzeichen: 02 C 1084
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2004 bis 31.08.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 679.189,00 EUR	Projektleiter: Prof. Glasmachers	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das an der Bergischen Universität Wuppertal durchgeführte Teilvorhaben wird in Kooperation mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover und der Deutschen Montantechnologie GmbH (DMT) in Essen durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Arbeiten im Teilvorhaben „Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems“ umfassten im Berichtszeitraum die Arbeitspakete:

- „erweiterte Adaptierbarkeit des Antennensystems,
- „Erstellung der Messsoftware“ sowie vor allem
- „Feld- und Labortest sowie Optimierung der HF-Komponenten“.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Messsoftware, die als verteilte Struktur teilweise im Mikrocontroller der Sonde und teilweise im steuernden PC residiert, wurde in der Endfassung erstellt. Dabei konnten gegenüber der ersten Fassung kürzere Zeiten für die Übertragung der Messparameter zur Sonde sowie für die Übertragung der Messwerte zum PC erreicht werden. Es wurde eine Vielzahl von Labortests zur Richtcharakteristik, zur Datenerfassung und zur Synchronisation zwischen Sender und Empfänger durchgeführt. Bei zwei Feldtests im Salzbergwerk der Firma K+S in Philipstal wurden in Form von Zwei-Bohrungs-Messungen die Richtcharakteristik sowie in Form von Ein-Bohrungs-Messungen das Längsprofil aufgenommen. Weitere Messungen betrafen die erweiterte Antennenadaptivität zur Verbesserung des Signal/Rauschverhältnisses, den Test der Fensterungstechnik, die Triggermöglichkeiten zwischen Sender und Empfänger sowie der Gewinn an Signalqualität durch Stapelung. Die Messungen zeigten in allen Parametern gute Ergebnisse. Für die Interpretation der Richtcharakteristik-Messungen müssen jedoch die geologischen Verhältnisse am Messort besser bekannt sein.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die weiteren Arbeiten umfassen den Endtest der Demonstrator-Einheiten (vermutlich wieder bei K+S) sowie die Abfassung der Dokumentation.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Bei der Konferenz „Ground penetrating radar 2008“ in Birmingham wurde eine Veröffentlichung „Optimizing Borehole Radar Sensitivity Using Triggerable Receiver Design“ präsentiert.

Zuwendungsempfänger: DMT GmbH, Am Technologiepark 1, 45307 Essen		Förderkennzeichen: 02 C 1094
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2004 bis 31.08.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 487.347,00 EUR	Projektleiter: Kröger	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die erhöhte Anforderung, umweltbelastende Stoffe sicher zu lagern, erfordert die Errichtung sicherer untertägiger Deponien. Aufgrund der begrenzten Sicherheit technischer Barrieren ist es wichtig, natürliche geologische Barrieren zu finden, die langfristig sicherer sein können.

In diesem Forschungsvorhaben soll eine neue Radar-Bohrlochsonde entwickelt werden, mit der aus einer allein stehenden Bohrung räumliche Informationen über das anliegende Gebirge gewonnen werden.

Das Forschungsvorhaben ist ein Verbundvorhaben an dem sich folgende Institutionen beteiligen:

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Fachgruppe Geophysikalische Forschung, Ref. Geophysik für das Ressourcenmanagement.
- Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Wuppertal
- Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen Geomesssysteme, Exploration & Geosurvey

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Verbundvorhaben gliedert sich in drei Teilvorhaben, die von den angeführten Institutionen in eigener Verantwortung durchgeführt werden.

Teilvorhaben I: „Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems“; Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Wuppertal

Teilvorhaben II: „Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit“; Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT), Essen

Teilvorhaben III: „Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten“; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Testmessung

Im März 2008 wurde eine weitere Testmessung mit dem System „DABOR II“ durchgeführt. Diese Tests dienten in der Hauptsache der Systemcharakterisierung. Es konnte eine hohe Empfindlichkeit sowie eine gute Richtwirkung nachgewiesen werden. Auf die gesamten Resultate und Messergebnisse gehen die Projektpartner detaillierter ein.

Die Transmissionsmessungen zur Ermittlung der Richtdiagramme zeigten zwar eine sehr gute Symmetrie und sehr gute Nullstellen, jedoch wies die absolute Peilung der Senderposition einen Fehlwinkel von 45 ° auf.

Die Ursache dieser Fehlpeilung galt es nun im Nachgang zur Testmessung zu ermitteln. Der erste Untersuchungsschritt war eine optische Kontrolle der Hardware auf Verdrahtungs- bzw. Einbaufehler des Orientie-

rungsmoduls. Es konnte kein Fehler festgestellt werden. Im zweiten Schritt wurden die Beschleunigungsaufnehmer im Orientierungsmodul untersucht. Mittels eines 3D Bewegungssimulators wurde das Orientierungsmodul um die X-Achse (Rollachse) rotiert. Die aufgenommenen Daten wurden registriert und mit den Schritten des Bewegungssimulators verglichen. Diese Messung bestätigte die Genauigkeitsangaben des Datenblattes. Ein Fehler, bedingt durch die Lagemessung, konnte jetzt ausgeschlossen werden.

Zur weiteren Untersuchung der Hardware und Software des Empfangsmoduls musste eine Prüfeinrichtung aufgebaut werden, die umgebungsunabhängig einen kurzen Impuls in das komplett montierte Empfangsmodul eingekoppelt. Diese Prüfeinrichtung besteht aus einer Induktionsschleife auf einem Stützrohr aus PVC. Eine Abschirmung umhüllt in einem Abstand von ca. 10 cm die Anordnung. Ein Impulsgenerator erzeugt einen 10 ns breiten Impuls mit einer Amplitude von 5 V und speist die Induktionsschleife über einen Symmetrietransformator. Der Impulsgenerator ist direkt im Speisepunkt der Induktionsschleife montiert und wird optisch über einen Lichtwellenleiter getriggert.

In diese Prüfeinrichtung wird das Empfangsmodul eingeschoben und mit dem für die Testmessung entwickelten Drehantrieb versehen. Das Richtdiagramm wird in 5 – Grad Schritten während einer 360 Grad Drehung aufgenommen. Die gemessenen Signale müssen wenige Nanosekunden nach dem Ersteinsatz ausgewertet werden, da der restliche Signalverlauf von Reflektionen der Abschirmung überlagert ist.

Die nach dem beschriebenen Verfahren aufgenommenen Richtdiagramme zeigten eine perfekte Ausrichtung der Maxima und der Nullstellen. Hierdurch konnte ein Softwarefehler sicher und mit großer Wahrscheinlichkeit ein Hardwareproblem ausgeschlossen werden.

Eine letzte Versuchsreihe sollte dieses Ergebnis erhärten. Sender und Empfänger wurden auf einer Wiese im Abstand von 6 m horizontal, parallel aufgestellt. Der Abstand zum Boden betrug 0,8 m. Mit Hilfe des Drehantriebs ist erneut ein Richtdiagramm aufgezeichnet worden. Die Auswertung der Signale konnte vom Ersteinsatz bis zum ersten Maximum erfolgen, da der restliche Signalverlauf von der Bodenwelle überlagert wird.

Die so aufgenommenen Richtdiagramme zeigten ebenfalls korrekte Ergebnisse. Um Untersuchungen auch nach dem ersten Maximum zu ermöglichen ist die gesamte Versuchsanordnung auch noch senkrecht betrieben worden. Der Auswertungsbereich vergrößerte sich nicht, die Qualität der Richtdiagramme entsprach den zuvor aufgenommenen Diagrammen. Die 45 ° Drehung der Richtdiagramme muss entweder aus dem Zusammenwirken der Antenne mit dem umgebenden Medium entstehen, oder es ist ein geologisch bedingter Effekt. Weitere Testmessungen in realer Umgebung sollen hierüber Aufschluss geben.

Sondenkupplungen/ Sondengehäuse

Die Untersuchungen zur Herstellung der O-Ring Dichtflächen sind abgeschlossen, mit dem Ergebnis, dass die Epoxid/ Keramikmischung eingesetzt werden kann, jedoch müssen die hiermit erzeugten Flächen drehtechnisch nachbearbeitet werden. Die Druckbeständigkeit bis 100 bar wurde an einem Prüfling nachgewiesen. Die Matrizen für den Beschichtungsvorgang wurden angefertigt und alle O-Ring Sitze wurden beschichtet. Ein blasenfreier Auftrag wird durch Verarbeitung der Keramikmischung in einer Vakuumkammer erreicht.

Sendemodul

Die Sendeelektronik für das Radarsystem ist fertig gestellt. Alle zugehörigen Komponenten sind auf einer Platine 146 mm x 58 mm platziert. Das Gehäuse für das Sendemodul befindet sich in der Fertigung, wobei das Chassis zurzeit konstruiert wird.

Die Sendeelektronik kann über eine bidirektionale Lichtwellenleiterstrecke mit dem Empfangsmodul kommunizieren. In der Hauptsache empfängt die Sendeelektronik ein Triggersignal vom Empfangsmodul und generiert den entsprechenden Sendeimpuls. Statt des Triggersignals kann auch eine serielle Information zur Sendeelektronik übertragen werden, welche den Sender in einen „Freilaufmodus“ schaltet. Die Sendeelektronik generiert im Freilaufmodus ein Synchronisationssignal für den Empfänger. Das Synchronisationssignal wird über die gleiche Glasfaserstrecke, die auch zur Triggerung benutzt wird, übertragen.

Wird der Sender in einem Zeitraum von 5 Minuten nicht getriggert, schaltet er in einen Stromsparmodus (nur im extern Trigger Betrieb), wird aber schon durch eine einzelne Triggerung wieder aktiviert. Der Stromsparmodus kann auch durch eine serielle Information herbeigeführt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Gehäusefertigung wird abgeschlossen, die Sondenbaugruppen werden montiert und nach einem kompletten Systemtest wird eine abschließende Messung erfolgen, die die Gesamtfunktion des DABOR Systems nachweist.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99423 Weimar		Förderkennzeichen: 02 C 1104
Vorhabensbezeichnung: Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2004 bis 31.12.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 343.086,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Schanz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei diesem Vorhaben handelt es sich um eine Fortsetzung des Vorhabens *Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement* (Abschluss 7/2004). Lag der Schwerpunkt der Arbeiten bisher bei der experimentellen und theoretischen Behandlung des gekoppelten hydraulischen und mechanischen Verhaltens, so werden hier Fragen der thermischen und chemischen Kopplung mit den mechanischen und hydraulischen Phänomenen betrachtet. Einen zweiten Schwerpunkt bilden die Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Tonen. Die bisher beschriebenen physikalischen Phänomene umfassen das gekoppelte hydraulische (Permeabilität, Kapillardruck-Sättigungsbeziehung) mechanische (Quelldruck, Steifigkeit) Verhalten. Darüber hinaus besteht jedoch eine signifikante Evidenz für die notwendige Berücksichtigung zusätzlicher physikalischer Effekte (Temperatur, Kriechen und Alterung).

Im Gegensatz zur bisher ausschließlichen Betrachtung von so genannten *Elementversuchen* sind für die Phase II ergänzend Versuche im Technikumsmaßstab notwendig (Temperatureinflüsse).

Die Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit des konstitutiven Verhaltens erfolgt sowohl bei den theoretischen, numerischen als auch bei den experimentellen Arbeitsschwerpunkten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Zentraler Inhalt der experimentellen Untersuchungen ist die Untersuchung und Charakterisierung des Einflusses der Temperatur (wiederholte Aufsättigungs-/Trocknungs-Zyklen) auf die konstitutiven Eigenschaften (Struktur/Porengrößenverteilung/Mikrorisse /Permeabilität, Quellen) des Dichtelements (hochverdichtete Bentonit-Sand-Mischung). Dies geschieht im Bezug zur Frage der Langzeitstabilität der Gesamtkonstruktion Verschlussbauwerk
2. Ermittlung der teilgesättigten Permeabilität (in Abhängigkeit von der Saugspannung) von Bentonit-Sand-Mischungen
3. Untersuchung des Zeitverhaltens (Kriechen, Alterung, Phasenübergänge) von Bentonit-Sand-Mischungen

4. Untersuchung des Zusammenhangs zwischen konstitutiven Eigenschaften und der Mikrostruktur (Quecksilberporosimetrie, ESEM-Analyse), Anteil der verschiedenen Porensysteme an der hydraulischen Permeabilität
5. Klärung des Begriffs der Saugspannung bei hochverdichteten Tonen, Einfluss des osmotischen Drucks und dessen Berücksichtigung im numerischen Modell
6. Anwendung der DDL zur Beschreibung des Kompressionsverhaltens von hochverdichteten Sand-Bentonit-Mischungen unter hohen Drücken

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In den letzten 6 Monaten wurden saugspannungskontrollierte Kompressionsversuche bei 80 °C durchgeführt. Die Proben die untersucht wurden bestanden aus einer hoch verdichteten Mischung von 50 % Bentonit (Calcigel) und 50 % Sand (Quarz Sand), der initiale Wassergehalt betrug 9 % und die initiale Trockendichte betrug 2 Mg/m³. Die Versuche wurden in einer modifizierten UPC Barcelona Oedometerzelle durchgeführt. Die Versuche wurden unter Verwendung der Axis-Translation-Technik durchgeführt. Die aufgebrachte Saugspannung betrug 100 kPa. In der Bodenplatte wurde eine Keramikfilterplatte mit einem Lufteintrittspunkt von 15 bar verwendet. Nach Erreichen der Maximalbelastung wurden auch die Entlastungspfade gemessen. Die Deformationen der Zelle zufolge mechanischer und thermischer Beanspruchung wurden entsprechend der vorgängigen Kalibrierung kompensiert bzw. korrigiert. Die Kompressionsversuche werden unter Verwendung der Vapour-equilibrium-Technik für eine totale Saugspannung von 3000 kPa fortgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss der noch ausstehenden laufenden experimentellen Arbeiten und Erstellung des Schlussberichts.

5. Berichte, Veröffentlichungen

1 weiterer Konferenzbeitrag, Details über tom.schanz@bauing.uni-weimar.de

Zuwendungsempfänger: Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstr. 7, 72074 Tübingen		Förderkennzeichen: 02 C 1114
Vorhabensbezeichnung: Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2005 bis 31.12.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 319.906,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kolditz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die im Rahmen der bisherigen Arbeiten beschriebenen physikalischen Phänomene umfassen das gekoppelte hydraulische und mechanische Verhalten von Bentonit-Sand-Gemischen, die zur Erstellung von Dichtelementen für untertägige Deponien und Verschlüsse verwendet werden. Darüber hinaus besteht jedoch eine signifikante Evidenz für die notwendige Berücksichtigung zusätzlicher physikalischer und chemischer Effekte (Temperatureinfluss, Zeiteffekte wie Kriechen und Alterung, mineralische Phasenübergänge, Gasfreisetzung und Migration, Wechselwirkungen mit freigesetzten Schadstoffen), die sich durch teilweise vorhandene experimentelle Beobachtungen unterlegen lässt.

Die Forschungsschwerpunkte der zweiten Projektphase sind nicht-isotherme Effekte, transiente Deformationsprozesse, Veränderungen von Permeabilitäten infolge von THMC Prozessen. Dabei geht es insbesondere um Fragen der Langzeitstabilität von Dichtelementen. Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden wie in dem bisherigen Projekt in wissenschaftlichen Fachzeitschriften und auf internationalen Fachtagungen publiziert. Daneben werden eigenständige wissenschaftliche Veranstaltungen in Form von Workshops durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm dieses Vorhabens zur Entwicklung eines numerischen THMC-Simulators orientiert sich an den physiko-chemischen Prozessen in Verschlussmaterialien

WP-T1: Thermische Prozesse, WP-T2: Hydraulische Prozesse, WP-T3: Mechanische Prozesse, WP-T4: Chemische Prozesse.

Numerische Verfahren: WP-T5, Softwareentwicklung: WP-T6 und Höchstleistungsrechnen: WP-T7 bilden den technischen Rahmen des Vorhabens.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Folgende Arbeiten wurden im Berichtszeitraum durchgeführt:

- Hydraulische Prozesse: Erweiterung des nicht-isothermen Mehrphasen-Modells für Liquid-Liquid-Systeme (bisher nur Liquid-Gas, pp-Model mit Druckformulierung).
- Mechanische Prozesse: Implementierung des Barcelona thermo-elasto-plastischen Quellmodells (TEP Modell) und erste Vergleiche mit CodeBright, Betrachtung von HM gekoppelten kontaktmechanischen Prozessen in klüftigen Gesteinen (Wang und Kolditz 2008, Walsh et al. 2008).

- Chemische Prozesse und Salzmechanik: siehe Zwischenbericht zum Vorhaben C1295,
- Numerik: Verifizierung des pp-Mehrphasenmodells anhand eines Testbeispiels von Lewis und Schrefler (Liakopoulos Experiment).
- Höchstleistungsrechnen: Durch die Verfügbarkeit eines Parallelrechners am UFZ (HPCLab: 256-Knoten Linux-Cluster) konnte die Parallelisierung von GeoSys/RockFlow weiter vorange-
trieben werden (Wang et al. 2008). Neben der MPI Parallelisierung, die schon von mehreren
Anwendern (BGR, PSI) in der Praxis genutzt wird, wurde auch die OpenMP Parallelisierung
objekt-orientiert für lineare finite Elemente entwickelt.

Eng verbunden mit diesem BMBF Vorhaben ist das internationale Benchmark-Projekt DECO-VALEX-IV für die Verifizierung von THC-Modellen (GeoSys/RockFlow, TOUGH-REACT (DOE), COUPLYS with THAMES (JAEA)), das erfolgreich abgeschlossen wurde (Birkholzer et al. 2008, Rutqvist et al. 2008).

Durch den Wechsel der Arbeitsgruppe von Tübingen nach Leipzig kam es zu Verzögerungen in der Projektbearbeitung und eine kostenneutrale Verlängerung des Vorhabens bis 12/2008 wurde beantragt. Durch die Gewinnung von Herrn Dr. Görke und Herrn Delfs konnte die Arbeitsgruppe in den Bereichen Mechanik und Hydraulik am UFZ verstärkt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

In der abschließenden Projektphase (bis Ende 2008) sollen experimentelle Daten der Projektpartner in Weimar (Prof. Schanz) mit dem THM Modell GeoSys/RockFlow ausgewertet werden. Es hat sich gezeigt, dass hierfür gewisse Erweiterungen im mechanischen Modell für teilgesättigte Bedingungen notwendig sind. In der nächsten Projektphase sind folgende Arbeitsschritte geplant:

- Weiterentwicklung des TEP Modells und Modellvergleiche mit CodeBright zu Verifikationszwecken,
- Erweiterung der OpenMP Parallelisierung für mechanische Prozesse (quadratische finite Elemente).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Birkholzer JT et al. (2008): Long-Term Permeability/Porosity Changes in the EDZ and Near Field due to THM and THC Processes in Volcanic and Crystalline-Bentonite Systems, DECOVALEX-THMC Project Task D, Final Report, SKI Report 2008:45

Rutqvist J., Barr D., Birkholzer J.T., Chijimatsu M., Kolditz O., Liu Q, Oda Y, Wang, W and Zhang C. (2008): Results from an International Simulation Study on Coupled Thermal, Hydrological, and Mechanical Processes near Geological Nuclear Waste Repositories. *J Nuclear Technology*, 163(1): 101-109.

Walsh R, McDermott C and Kolditz O (2008): Numerical modeling of stress-permeability coupling in rough fractures, *J Hydrogeology*: 16(4): 613-627, DOI: 10.1007/s10040-007-0254-1.

Wang W and Kolditz O (2008): Numerical analysis of strong discontinuity propagation in dilatant media: Enhanced strain finite elements and tracking strategy, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, vol. 38 (1-2): 135-164.

Wang W, Kosakowski G, Kolditz O (2008): A parallel finite element scheme for thermo-hydro-mechanical (THM) coupled problems in porous media. *Computers & Geosciences*, in print.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademie- straße 6, 09599 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 C 1124
Vorhabensbezeichnung: Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2004 bis 30.09.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 642.644,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kudla	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Gesamtziel des Vorhabens ist, geeignete Materialien und neuartige konstruktive Lösungen zu finden, mit denen zu bereits bekannten Bentonitdichtelementen weitere Dichtelemente zu einem redundanten Dichtsystem realisiert werden können, so dass das Gesamtsystem auch bei relativ schnell auftretender Flüssigkeitsdruckbelastung oder eventuell wechselndem Chemismus seine Dichtfunktion, einschließlich der Impermeabilisierung des aufgelockerten, ausbruchsnahen Bereiches erfüllt.

Wird dieses Dichtelement aus Bitumen, Asphalt, Asphaltbeton, Gussasphalt o. ä. hergestellt, erreicht man aufgrund der prinzipiell völlig anderen Dichtmechanismen von Bitumen zum Gebirge und zu wässrigen Lösungen sowie der absoluten Flüssigkeitsdichtheit dieser Materialien zusätzlich ein diversitäres Dichtsystem.

Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit solcher Dichtsysteme soll durch halbtechnische Versuche bei unterschiedlichen Belastungsszenarien erfolgen.

Ergänzt werden die Materialuntersuchungen mit Untersuchungen zur Bildung von Mikrorissen in Salzbeton und Solebeton. Dazu werden neue mikromechanische Modelle unter Berücksichtigung des Hydratationsverhaltens und unterschiedlicher Zuschlagstoffe entwickelt und experimentelle Arbeiten durchgeführt. Das Ziel dieser Arbeiten ist, Aussagen zur Beeinflussung der Kinetik der Zementsteinkorrosion durch Salzlösungen zu treffen und damit neue Erkenntnisse zum Langzeitverhalten von Beton unter salinaren Bedingungen zu erhalten.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Wissensstand zu kombinierten Ton – Bitumen / Asphalt – Dichtungen
- AP2: Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Beton unter salinaren Bedingungen
- AP3: Anforderungen und Materialauswahl
- AP4: Modifizierung von Bitumen zur Einstellung der Dichte und des rheologischen Verhaltens
- AP5: Zusammenwirken zwischen Bitumen / Asphalt und Bentonit
- AP6: Konstruktive Lösungen und technische Ausführung
- AP7: Test des Gesamtsystems aus beiden Dichtelementen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Im Ergebnis der Untersuchungen zum autogenen Schwinden wurde eine modifizierte Salzbetonrezeptur mit CaO-Zusatz vorgeschlagen, durch die das autogene Schwinden auf nahe Null reduziert werden kann. Mit jeweils drei modifizierten Salz- und Solebetonmischungen (Quellmittel, Glasfaser) wurden weitere Dünnschliffe (Dicke ca. 30 μm) für optische Mikrorissuntersuchungen angefertigt. Weiterhin wird der für die Langzeitstabilität maßgebende offene Porenraum durch Quecksilberporosimetrie bestimmt. Für die realistische Darstellung in der numerischen Analyse, werden repräsentative Ausschnitte der Schliffbilder von Salz- und Solebeton in ein FEM basiertes Programmsystem eingelesen und einer Spannungsanalyse unterzogen. Das dabei auftretende Spannungsverhalten wird mit den an den Schliffbildern beobachteten Rissverhalten verglichen und auf Plausibilität überprüft.
- AP7: Die halbtechnischen Versuche haben gezeigt, dass das Dichtverhalten von Asphalt durch Verschlechterung der Adhäsion eingeschränkt sein kann. Bei Vergleichsuntersuchungen wurde festgestellt, dass diese Effekte auch im Steinsalz auftreten können. Deshalb wurden zusätzliche Laborversuche zur Quantifizierung des Adhäsionsverhaltens unterschiedlicher Bitumensorten an Steinsalz durchgeführt sowie Bohrlochversuche im Steinsalz vorbereitet. Zur Verbesserung des Haftverhaltens von Bitumen / Asphalt am Salzgestein wurde ein spezieller Bitumenanstrich entwickelt, der im Labor erfolgreich getestet wurde und der bei den In-situ-Bohrlochversuchen zum Einsatz kommt. Kombinierte Bentonit-Asphalt-Dichtelemente sind auch bei hohen Flüssigkeitsdruckanstiegen dicht.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Abschluss der Untersuchungen, Abschlussbericht
- AP7: In-situ-Bohrlochversuche im Steinsalz, Abschlussbericht.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 1134
Vorhabensbezeichnung: Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2004 bis 31.10.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 449.188,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Langefeld	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist die Untersuchung eines geeigneten Baustoffs für die Erstellung von Dammbauwerken für Untertage-Deponien und Endlager im Salzgebirge unter besonderer Berücksichtigung der Langzeitsicherheit, Dehydratationsvorgänge und Migration von freigesetztem Kristallwasser sowie die Bereitstellung eines einsatzfähigen Verfahrens.

Vor Anlaufen eines Großversuchs sollte die pneumatische Einbringbarkeit des Dammbaustoffes und die Eignung der Technologie im Technikumsmaßstab untersucht werden. Bei der Konzeption des Großversuches ist neben den logistischen und technologischen Fragestellungen auch die Instrumentierung und wissenschaftliche Aufnahme der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Das Forschungsziel ist die Untersuchung zur Erstellung eines pneumatisch eingebrachten Verschlussbauwerks von Einlagerungskammern und Strecken nach einer Verbringung von chemisch-toxischen und radioaktiven Abfällen im Salinar.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Untersuchung der pneumatischen Einbringbarkeit des Dammbaustoffes im Technikumsmaßstab am Institut für Bergbau der TU Clausthal und auf dem Forschungsbergwerk Asse
2. Konzeption eines Großversuchs auf dem Forschungsbergwerk Asse
3. Aufbau und Durchführung des Großversuchs
4. Datenerfassung, Auswertung und wissenschaftliche Aufbereitung der Versuchsergebnisse
5. Rückbau des Großversuchs und Erstellung eines Abschlussberichtes

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden hauptsächlich Arbeiten der Arbeitspakete 4 durchgeführt, d. h. es stand die Auswertung und wissenschaftliche Aufbereitung der Versuchsergebnisse im Vordergrund.

Aufgrund der Tatsache, dass der Versuchsdamm auf der Schachtanlage demontiert wurde, wurden im Berichtszeitraum Arbeiten am Institut für Bergbau durchgeführt.

Begleitend wurden am Institut für Bergbau Versuche zur Kalibrierung der Ergebnisse der Feuchtemessung weitergeführt.

Im Weiteren wurden noch Überlegungen zur weiteren Verbesserung der Anlagentechnik vorgenommen, insbesondere die Ermittlung theoretischer Baustoffkennwerte für eine optimale Auslegung der pneumatischen Anlagentechnik im Bezug auf die Druckabnahme über die Rohrleitungslänge.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im nächsten Berichtszeitraum sollen letzte Auswertungen der Versuchsergebnisse und noch einige Laboruntersuchungen zu Hydratationsgrad, Festigkeit und Permeabilität des Dammbauwerks an während des Dammabbruchs gesicherten Probekörpern und der möglichen Konfiguration einer Blasanlage zur Errichtung von Dammbauwerken im Trockenspritzverfahren durchgeführt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 C 1144
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-FZD)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2004 bis 30.04.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.04.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 197.205,00 EUR	Projektleiter: Dr. Brendler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken (SODA [GRS] und RES³T [FZD]) zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES³T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES³T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES³T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (inkl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Web-Interface & Manual

- Bereitstellung des WWW-Interfaces <http://www.sorption.net> für das ISDA-Projekt
- Erarbeitung des Manuals
- Test des Nutzerinterfaces

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Kontinuierliche Recherche neuer Literatur und Einpflegen der Daten in die Datenbank

AP4: Experimentelle Schließung von Datenlücken

- Sorptionsmodellierung der Uransorption an Muscovit (pH-Abhängigkeit) und Granit (Urankonzentrationsabhängigkeit): gute Übereinstimmung von Sorptionsvorhersage und Messwerten
- Auswertung des Säulenversuches mit Uran und Cäsium in Quarzsand
Desorptionsversuche nach Trennung der Säule
- Erstellung des Abschlussberichtes für den experimentellen Teil

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine, außer Erstellung des Abschlussberichtes, da Projekt abgeschlossen ist.

5. Berichte, Veröffentlichungen

C. Nebelung, A. Richter, V. Brendler: Modeling of the U(VI) sorption on mineral mixtures: synthetic and natural sandstone; Annual Report 2007, FZD-489 2008, ISSN 1437-322X, p. 52.

A. Richter, C. Nebelung, V. Brendler: Component Additivity approach for uranium retardation in sandstone host rocks. Vortrag: Computational Methods in Water Resources XVII (CMWR 2008), 06.-10.07.2008, San Francisco/USA.

Zuwendungsempfänger: DMT GmbH, Am Technologiepark 1, 45307 Essen		Förderkennzeichen: 02 C 1154
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2004 bis 30.04.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.04.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 88.492,50 EUR	Projektleiter: Dr. Klinger	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken SODA [GRS] und RES³T [FZD] zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES³T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES³T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES³T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Zusammenführung der Datenbanken SODA und RES³T

- Anpassung und Korrektur der ISDA-Parameterlisten
- Überprüfung der Datenbankinhalte nach Neueinspielung der Daten
- Zusammenführung von Dateninhalten
- Umsetzung der Datenbank ins Englische (Sprache, Begriffe)
- Test der ISDA-Datenbankstruktur bei der Dateneingabe
- Funktionstests der Datenbank (Suchfunktionen, Datenausgabe etc.)

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Eingabe von Sorptionsdaten aus der Literatur zu den Elementen Arsen und Chrom
- Datenauswertung der ergänzenden Versuche zur Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: keine

AP3: keine

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 1164
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2004 bis 30.04.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.04.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 316.057,50 EUR	Projektleiter: Dr. Brassler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken (SODA [GRS] und RES³T [FZD]) zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES³T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES³T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES³T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Zusammenführung der Datenbanken SODA und RES³T

- Weitere Anpassung und Korrektur der ISDA-Parameterlisten
- Weitere „Internationalisierung“ der Datenbank durch Übersetzung der Parameter und Austausch hinterlegter, D-spezifischer, Auswahllisten durch international gebräuchliche
- Überarbeitung des Abfragekonzeptes zur Datenrecherche

AP2: Web-Interface

- Bereitstellung und Einrichtung eines Webservers für die Web-Verfügbarkeit der Datenbank bei GRS

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Fortführung und Aktualisierung der bisherigen Literaturrecherchen, Beschaffung fehlender Publikationen
- Auswertung sämtlicher Rechercheergebnisse hinsichtlich Vorhabensrelevanz, Kontaminanten und Gesteins-/Mineralmatrices
- Literaturauszug und ISDA-konforme Aufbereitung weiterer Datensätzen zur Übernahme in die Datenbank

AP4: Experimentelle Schließung von Datenlücken

- Abschluss der Laborexperimente an natürlichen und synthetischen Gesteinssystemen mit synthetischen Schadstofflösungen in Batch- und einem Säulenversuch

4. Geplante Weiterarbeiten

- Transfer der Datenbank auf den GRS-Server
- Fertigstellung des Abschlussberichtes

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Dr. Veerhoff & Scherschel GbR erd_sicht, Staffelgasse 15, 53347 Alfter		Förderkennzeichen: 02 C 1174
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-EnviCon)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2004 bis 30.04.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.04.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 231.985,00 EUR	Projektleiter: Dr. Veerhoff	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Voraussetzungen für zuverlässigere Prognosen zur räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von chemisch-toxischen Kontaminanten und Radionukliden zu schaffen, welche wiederum Basis für Risikoanalysen unter Berücksichtigung verschiedener möglicher Szenarien sind. Im Vordergrund des Vorhabens steht die Zusammenführung und Weiterentwicklung bestehender Sorptionsdatenbanken (SODA [GRS] und RES³T [FZD]) zu einem Datenbank-Tool mit umfassenden geochemischen Informationen zur Charakterisierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Gesteinen im Deck- und Umgebungsgebirge von untertägigen Entsorgungsmaßnahmen.

Ausgehend von der gegenwärtigen Datensituation in den Datenbanken SODA und RES³T werden außerdem wesentliche Datenlücken identifiziert und exemplarisch im Rahmen eines experimentellen Untersuchungsprogramms mittels Batch- und ausgewählter Säulenversuche geschlossen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Zusammenführung der beiden Sorptionsdatenbanken SODA und RES³T (Konvergenz von Tabellenstruktur und internen Beziehungen von SODA und RES³T, begrenzte Erweiterung der Funktionalität)
- AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces zur weltweiten Nutzung und Aktualisierung der Datenbank (incl. Einführung eines Autorisierungsschemas), Erarbeitung eines Online-Manuals
- AP3: Erweiterung des Datenbestandes (kontinuierliche Sichtung vorhandener Literatur zur Sorption von Kontaminanten und Matrixelementen) mit Auswertung und Dokumentation
- AP4: Exemplarische Schließung von Datenlücken durch eigene Experimente (Datenauswertung und Spezifizierung von Experimenten, Säulen- und Batchexperimente zu definierten Systemen)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Zusammenführung der Datenbanken SODA und RES³T

- Einführung der XML-basierten Wertespeicherung mit der Möglichkeit.
- Entwicklung von datenbankseitigen Funktionen zum Auslesen und Bewerten der in XML gespeicherten Werte
- Vorbereitung der Datenbank für die Einführung des Pointer-Datentyps, der Eigenschaften auf Basis der ISDA-Hauptelemente erlaubt.

AP2: Programmierung und Gestaltung eines Web-Interfaces

- Anpassung der Templates, Components und Skripte an die Datenspeicherung im XML-Format
- Einführung des Pointer-Datentyps in der Anwendung
- Entwicklung von Funktionen zur Ansteuerung der Datensatz-Freigabefunktion
- Entwicklung einer speziellen Suchmaske /-funktion für Literaturquellen in der Datenbank
- Entwicklung einer Datensatzrecherche-Funktion für Sorptionsdaten
- Debugging

AP3: Erweiterung des Datenbestandes

- Abgleich und Überarbeitung der Parameter- und Optionslisten. Anpassung der Eigenschaften an die strukturellen Anforderungen der ISDA.
- Plausibilitäts- und Konsistenzprüfung der nach ISDA konvergierten Datensätze

4. Geplante Weiterarbeiten

Keine

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastraße 27c, 80686 München		Förderkennzeichen: 02 C 1184
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2004 bis 31.05.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 31.05.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 469.877,50 EUR	Projektleiter: Dr. Kühnicke	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Erkundung und Bewertung der Auflockerungszonen um bereits existierende Hohlräume in bergmännisch genutzten Grubengebäuden sind vor allem bei der Vorbereitung des Einbaus von Verschlussbauwerken wichtige Voraussetzungen für detaillierte Planungen und qualifizierte Langzeitsicherheitsnachweise von Endlagern und Untertagedeponien.

Das Verbundvorhaben hat die Entwicklung und den In-situ-Test eines Messsystems aus aktiven akustischen und elektromagnetischen Verfahren zur hochauflösenden zerstörungsfreien Strukturerkundung und Kennwertermittlung in Saumzonen um Bergbauhohlräume zum Ziel. Dabei liegt der Schwerpunkt auf einer Detailerkundung der ersten Meter um einen Hohlraum herum, mit dem Ziel einer hohen räumlichen Auflösung. Das Vorhaben wird im Verbund mit der TU Ilmenau, Fachgebiet elektronische Messtechnik, durchgeführt, die den Einsatz eines Vielkanal-Breitband-Radarsystems für diese Aufgabe übernimmt (Förderkennzeichen: 02C1194).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Modellrechnungen zur Ausbreitung akustischer Wellen in der gradienten Saumzone
- AP2: Vorversuche im Labor und im Bergwerk zur Anpassung und Weiterentwicklung der Hardware und Auswahl der am besten geeigneten Messkonfiguration
- AP3: Kombination der aktiven akustischen und elektromagnetischen Verfahren zur Charakterisierung des Auflockerungszustandes in der Saumzone, Datenverarbeitung und Entwicklung gemeinsamer Interpretationstechniken
- AP4: Validierung der Messergebnisse des Verfahrenskomplexes an den Daten von Permeabilitäts- und Verformungsmessungen
- AP5: Anwendung der aktiven Wellenverfahren zur Langzeitüberwachung bergbauinduzierter Auflockerung und Verformung des Gebirges
- AP6: Auswertung und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die unmittelbar nach dem maschinellen Auffahren einer Kammer im Steinsalz beobachteten zeitlichen Änderungen der Ultraschallsignale wurden durch 2-D EFIT-Modellrechnungen der Ausbreitung der akustischen Wellen simuliert.
- AP2: Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.
- AP3: Die Interpretationstechniken zur Datenverarbeitung von Sonar- und Radardaten wurden weiterentwickelt und auf die in den Jahren 2005 bis 2007 in Maschinenstrecken der Gruben Sondershausen und Bernburg gewonnenen Daten angewandt. Mit den geschaffenen Bearbeitungstechniken können sowohl kleinräumige Inhomogenitäten in der bergbauinduzierten Auflockerungszone sicher nachgewiesen werden als auch die zeitliche Veränderung des Auflockerungsgrades erfasst werden.
- AP4: Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.
- AP5: Vom 07. bis 09.05.2008 wurden in einer letzten Phase der In-situ-Untersuchungen verfahrensübergreifende Langzeitmessungen in der Grube Borth der K+S AG durchgeführt, um den Einfluss der Konvergenz auf den Auflockerungszustand des Gebirges zu ermitteln. Diese Untersuchungen erfolgten unmittelbar nach dem maschinellen Auffahren einer Kammer im Steinsalz im Firstbereich.
- AP6: Es wird ein mit den Projektpartnern abgestimmter Abschlussbericht erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sollen am 2. Oktober 2008 im Rahmen des 5. Fachgesprächs „Geophysik und Barriersysteme“ am Institut für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig vorgestellt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Ilmenau, Ehrenbergstraße 29, 98693 Ilmenau		Förderkennzeichen: 02 C 1194
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthfrequenz-Radar		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2004 bis 31.05.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 31.05.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 294.886,00 EUR	Projektleiter: Dr. Sachs	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel besteht darin, durch zerstörungsfreie und kontinuierlich arbeitende Untersuchungsmethoden Aussagen über den Auflockerungszustand oberflächennaher Salzgesteinschichten zu erhalten. Zur Sondierung werden sehr breitbandige elektromagnetische Wellen (Radar) eingesetzt, um eine hohe räumliche Auflösung und Detektierbarkeit von Gesteinsstörungen zu gewährleisten. Ausgangspunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist ein neuartiges Radarprinzip, dessen bisher schon hohe Bandbreite noch weiter vergrößert werden soll. Darüber hinaus sind geeignete Antennenanordnungen und Auswertelgorithmen zu finden, mit denen die gesuchten Gesteinsdefekte optimal detektiert werden können. Durch eine enge Kooperation mit einem Schwesterprojekt (IFZP Dresden) zur Ultraschallsondierung von Gesteinen und späterer Fusion der Akustik- mit den Radardaten soll die Aussagekraft und Zuverlässigkeit der Messungen erhöht werden. Die angestrebte Messmethode ermöglicht eine hochauflösende Beurteilung von Auflockerungen, für die zurzeit auch international noch keine erschöpfenden Lösungen existieren. Daraus resultiert ein hohes Marktpotenzial des Radarsystems sowohl für bergbauliche Aufgaben als auch für den Hoch- und Tiefbau.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Theoretische und experimentelle Analyse der Ausbreitungseffekte elektromagnetischer Wellen in der Saumzone von Hohlräumen im Salinar sowie dünnen Schichten in Luft
- Entwicklung, Bau und Test der Sensorelektronik
- Entwicklung, Bau und Test des Scanners und der Sensorelemente
- Messdatenverarbeitung und Parameterextraktion
- Validierung der Messergebnisse
- Langzeitüberwachung bergbauinduzierter Auflockerungen und Verformungen des Gebirges
- Auswertung und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Auswertung der Messdaten Flächenmessung Sondershausen mit erweitertem M-Sequenzsystem
- Aufbau eines kleineren geschirmten Antennenarrays mit neuen Hornantennen und Angliederung des Kalibriermoduls
- Durchführung einer Flächenmessung in Bernburg (neues Radar)
- Entwicklung einer neuen Methode zur Unterdrückung des Oberflächenreflexes und Anwendung in der Datenverarbeitung zu Messungen in Bernburg
- Durchführung einer Messkampagne in Borth an einem 5 m langen frisch aufgefahrener Streckenabschnitt (Minerstrecke) zur Untersuchung des Konvergenz- und Auflockerungsverhaltens
- Radar-Datenverarbeitung
 - Datenaufbereitung, vollständige 2-Tor-Kalibrierung nach der 8-Term-Korrektur
 - Erarbeitung geeigneter Visualisierung des Auflockerungszustandes in den Daten
- Vergleich der Messdaten aus Bernburg mit den Ergebnissen der Ultraschallmessungen des IZFP

4. Geplante Weiterarbeiten

- Auswertung einiger Messdaten aus Borth mit erarbeiteten Algorithmen
- Vergleich der Messdaten aus Borth mit den Ergebnissen der Ultraschallmessungen des IZFP
- Erstellung Abschlussbericht zum Förderprojekt und Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

5. Berichte, Veröffentlichungen

„12-GHz Bandwidth M-Sequence Radar for Crack Detection and High Resolution Imaging“, wiss. Paper zur 12. International Conference on Ground Penetrating Radar 2008 (GPR 2008), inkl. Präsentation während Konferenz in Birmingham (UK)

„High Resolution Non-Destructive Testing in Civil Engineering by Ultra-Wideband Pseudo-Noise Approaches“, wiss. Paper zur International Conference on Ultra-Wideband 2008 (ICUWB 2008), inkl. Präsentation während Konferenz in Hannover (DE)

Zuwendungsempfänger: GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG, Straße der Einheit 9, 06179 Teutschenthal		Förderkennzeichen: 02 C 1204
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit); Teil 2: Erprobung von Funktionselementen in situ		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2004 bis 31.12.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 4.434.956,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Knoll	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben schließt an das Vorhaben 02C0942 an. Es dient der Vervollständigung und großmaßstäblichen Verifizierung des dort erarbeiteten Grundkonzeptes und der dazugehörigen Bemessungsgrundlagen für die Errichtung von Streckendämmen in leichtlöslichen Salzgesteinen, insbesondere im Carnallit.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Planung eines Versuchsbauwerkes und seiner einzelnen Funktionskomponenten
- AP2: Auswahl der Einbaustandorte für die einzelnen zu untersuchenden Funktionselemente des komplexen Absperrbauwerkes
- AP3: Entwicklung eines interdisziplinären Messkonzeptes zum Nachweis der geplanten Eigenschaften der Dammbaumaterialien und des Umgebungsgesteins sowie ihres Verhaltens im Zeitverlauf; Funktionssicherung des Bauwerkes
- AP4: Untersuchungen zur Abdichtung der Kontaktzone und des unmittelbar daran anschließenden Gebirgsbereiches in der Einbauzone
- AP5: Labor- und In-situ-Untersuchungen zu den im Konzept (AP1) aufgeführten Verschluss-elementen und Materialien
- AP6: Modellrechnungen für das Komplettbauwerk (Dammelemente, Fuge, ALZ, unverritztes Gebirge)
- AP7: Errichtung von Funktionselementen (Module)
- AP8: Konzipierung, Errichtung und Test geeigneter „Vorbau“-Elemente
- AP9: Messtechnische Kontrolle und Überwachung mit Vergleich der Messwerte mit den Berechnungsergebnissen zum geomechanischen und hydraulischen Verhalten
- AP10: Verarbeitung der Ergebnisse zu Prüfkriterien und Testanforderungen für Absperrbauwerke der untersuchten Kategorie
- AP11: Berichtsfassung und Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: abgeschlossen.
- AP2: abgeschlossen.
- AP3: Die Messkonzepte für die Großversuch GV1 und GV3 wurden fertig gestellt; die Messelemente sind eingebaut und der Funktionstest nach Einbau ist erfolgt. Das Konzept für den Großversuch GV2 wurde erarbeitet und mit dem Einbau begonnen; für den so genannten Kleinversuch KV1 wurden die Messelemente ebenfalls eingebaut; die Messungen während des Versuches laufen.
- AP4: Die Untersuchungen zur Kontaktzone und des unmittelbar daran anschließenden Gebirges im Bereich der Einbauorte der 3 Großversuche wurden fortgesetzt. Insbesondere für den Großversuch GV2 wurden zusätzlich neue Konzepte entwickelt und mit der Erprobung wurde begonnen.
- AP5: Zusätzlich zu den in der Vorhabensbeschreibung vorgesehenen Konzepten wurden vollkommen neu Prinzipien gefunden, getestet und mit der Realisierung in den Großversuchen GV2 und GV3 wurde begonnen.
- AP6: Die numerischen geomechanischen Modellberechnungen wurden für den GV1 so weit präzisiert, dass die Ergebnisse für die Steuerung des Versuches (Belastungsaufgabe) zur Verfügung stehen. Für den Großversuch GV3 wurden Berechnungen durchgeführt, die die zusätzliche Behandlung der ALZ beim vorgesehenen runden Querschnitt des Dammelementes präzisieren.
- AP7: Der Aufbau des Dammkörpers für den GV1 ist abgeschlossen. Derzeit erfolgt die Phase der Ausbildung eines Gleichgewichtes als Voraussetzung für die Lastaufgabe. Auch die Errichtung des Dammkörpers des GV3 konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Das Widerlager-element für den KV1 ist errichtet und wurde bereits im Versuch erprobt. Mit der Errichtung des Dammelementes vom GV2 wurde begonnen (50 %).
- AP8: An beiden Vorbau-elementen wurden die In-situ-Untersuchungen fortgesetzt.
- AP9 bis AP11: sind in Bearbeitung, die abschließende Realisierung hängt jedoch von den Ergebnissen der Großversuche ab. Am GV3 wurde ein erster Belastungstest durchgeführt, die Daten befinden sich in der Auswertung.

4. Geplante Weiterarbeiten

Beim GV1 wird die Konsolidierungsphase messtechnisch verfolgt und in Abhängigkeit von dieser Phase und der angestrebten erfolgreichen Abdichtung der Kontaktzone Dammbaukörper/Wirtsgestein mit der Druckbeaufschlagung begonnen. Für den GV2 werden die technologischen Untersuchungen für die Herstellung großer MgO-Spritzbetonkörper fortgeführt und bereits umgesetzt. Die Untersuchungen zum geochemischen Vorbau-element befinden sich in der Auswertungsphase.

Die weiteren Arbeiten erweisen sich als umfangreicher (2 zusätzliche Großversuche und 2 mittelmaßstäbliche In-situ-Versuche). Das trifft sowohl für die wissenschaftlichen Inhalte als auch für die versuchstechnischen Aufwendungen zu. Derzeit wird an einem Konzept der möglichst weitgehenden Rationalisierung der Arbeiten bei Aufrechterhaltung der ursprünglichen und der erweiterten wissenschaftlichen Zielstellungen gearbeitet.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Bzgl. der Schutzrechtssituation wurde 1 Patent erteilt und 2 weitere Patentanmeldungen wurden getätigt. Weitere 5 schriftliche Publikationen und Vorträge wurden erarbeitet und präsentiert. Von besonderer Bedeutung ist eine Publikation über geochemische Fragestellungen zur Langzeitsicherheit von MgO-Beton. In dieser Publikation wurden Forschungsdefizite aufgezeigt.

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 1244
Vorhabensbezeichnung: Prognose der Redoxeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2005 bis 31.03.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 748.135,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hagemann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die sichere Prognose der Redoxeigenschaften ist eine wesentliche Voraussetzung zur Vor-ausberechnung der im Falle eines hydrologischen Störfalles zu erwartenden Schwermetall- und Radionuklidkonzentrationen im Nah- und Fernfeld einer untertägigen Entsorgungseinrichtung. Ziel des Vorhabens ist es Methoden zu entwickeln, mit denen sich die Redoxeigenschaften insbesondere salinärer Lösungen verlässlich messen und auch voraussagen lassen. Hierzu werden zum einen analytische Methoden entwickelt, zum anderen aufbauend auf experimentellen Untersuchungen ein Modell zur Voraussage der Speziation von Eisen in salinaren Lösungen und zur Löslichkeit eisenhaltiger Festphasen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Entwicklung eines verlässlichen Messverfahrens zur Bestimmung des Redoxpotentials salinärer Lösungen
- Entwicklung eines Verfahrens zur Messung von Wasserstoffkonzentrationen in salinaren Mischlösungen
- Verfahrensvalidierung
- Bestimmung der Speziation von Eisen(II) und Eisen(III) in salinaren Lösungen
- Untersuchung der thermodynamische Stabilität eisenhaltiger Minerale

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Bei der Bestimmung des Zusammenhanges zwischen „scheinbarem pH-Wert“ und der tatsächlichen Wasserstoffionenkonzentration wurden die ternären chloridischen Systeme NaCl-KCl-H₂O, NaCl-MgCl₂-H₂O und KCl-MgCl₂-H₂O zunächst nur in einer Wiederholung gemessen, da davon ausgegangen wurde, dass die auftretende Differenz aus scheinbarem pH-Wert und logarithmierter Wasserstoffkonzentration aus den Einzeldifferenzen der binären Systeme erklärt werden kann. Es treten in ternären Systemen zwar keine zusätzlichen Effekte auf, jedoch eignen sich die aus binären Lösungen abgeleiteten empirischen Zusammenhänge und Regressionsfunktionen nicht zur Beschreibung ternärer Daten. Hier sind neue theoretische Herangehensweisen nötig, die zurzeit entwickelt werden.

Zur Untersuchung der verlässlichen Redoxmessung in salinaren Systemen wurden im Berichtszeitraum die Messreihen bei variierender NaCl- bzw. KCl- Konzentration (stark verdünnt bis fast gesättigt) aber konstanter Fe-Gesamtkonzentration und konstantem Fe(II)/Fe(III)-Verhältnis sowie konstantem pH abgeschlossen. Die Datenreihen zeigen jeweils eine Abnahme der Messspannung mit Zunahme der Salzkonzentration. Der Vergleich der beiden Salzlösungen zeigt eine gute Übereinstimmung der Messspannung bei niedrigen Salzkonzentrationen, ab jedoch 1,5 mol/kg Salz nimmt die Messspannung in der KCl-Lösung bei zunehmender Salzkonzentration deutlich stärker ab als in NaCl-Lösung.

Die Entwicklung eines Verfahrens zur Messung von Fe(II)- und Fe(III)-Konzentrationen in Ultrapurenkonzentrationen (Kapillar-UV-Spektrometrie) wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der Untersuchung der Abhängigkeit der Messspannung von pH-Einstabelektroden von der Hintergrundsalzkonzentration bei chloridischen, sulfatischen und komplexen Mischlösungen mehrerer Salze.
- Weiterführung der Redoxmessungen in salinaren Lösungen.
- Weiterentwicklung eines Verfahrens zur Messung von Fe(II)- und Fe(III)-Konzentrationen im Subnanomolar-Bereich mit der Kapillar-UV-Spektrometrie. Bestimmung der Hydroxokomplexbildung mittels UV-Spektroskopie von Fe(III) in salinaren Lösungen im pH-Bereich 1 bis 13.
- Ansetzen der Langzeitlösungsversuche zur Validierung der ermittelten Parameter und des entwickelten Redox-Messverfahren.
- Durchführung der kritischen Literaturlauswertung zu thermodynamischen Daten eisenhaltiger Festphasen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 1254
Vorhabensbezeichnung: Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2005 bis 31.03.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 664.920,00 EUR	Projektleiter: Dr. Brassler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen der Stilllegung einer Untertagedeponie müssen Maßnahmen durchgeführt werden, die einen sicheren Abschluss der abgelagerten Abfälle vom Biozyklus gewährleisten. Unterschiedliche Barriersysteme können aufgrund ihrer hydraulisch-chemischen Eigenschaften wesentliche Beiträge zur Schadstoffrückhaltung leisten. Laboruntersuchungen sollen den Einfluss der Umgebungsbedingung (anaerob/aerob) auf die Oxidationsspeziationen redoxsensitiver Elemente bestimmen. Dazu ist vorgesehen, die geochemischen Gleichgewichte zu identifizieren, welche die Konzentrationen der Schwermetalle unter anaeroben Bedingungen bestimmen, und welche redoxpuffernden Zuschlagstoffe zur Fixierung von Schwermetallen beitragen können. So soll der Schwermetallgehalt von eluierten Abfallproben (anaerob) identifizierten redoxsensitiven Phasen zugeordnet werden. Untersuchungen, welche die Reaktionsmechanismen von Schwermetallen unter anaeroben UTD-Bedingungen aufklären können, stellen eine wesentliche Grundlage zur Beurteilung der Mobilität von schädlichen Abfallinhaltsstoffen dar, aus denen sich technische Maßnahmen zur Verbesserung der Langzeitsicherheit untertägiger Deponiesysteme ableiten lassen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Übersichts-Screening

AP2: Detailuntersuchungen ausgewählter Systeme mit Analyse von Reaktionsmechanismen

AP3: Ableitung redoxpuffernder Zuschlagstoffe

AP4: Begleitende geochemische Modellierung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP2: Detailuntersuchungen ausgewählter Systeme mit Analyse von Reaktionsmechanismen

- Weitere Einarbeitung in Methodik und Messung mittels Laserablation-ICP-Massenspektroskopie (LA-ICP-MS)
- Verfeinerung der Probenpräparation zur Herstellung von Presstabletten
- Optimierung von Kalibrationseinstellungen
- Erstellung einer Messvorschrift zur Durchführung von Kalibrationsmessungen
- Durchführung und graphische Auswertung von Kalibrationsmessungen
- Optimierung der Lasereinstellungen zur Probenmessung
- Abgleich von Messvorschriften und -einstellungen mit internationalen Erfahrungen im Rahmen eines European Workshop on Laser Ablation
- Probenvorbereitung durch Fraktionierung in drei Korngrößenklassen

AP3: Ableitung redoxpuffernder Zuschlagstoffe

- Weitere Literaturrecherchen zur Immobilisierung von Schwermetallen

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2:

- Weiterführung der Recherchen zu speziesanalytischen Verfahren für redoxsensitive Elemente (As, Cr, Fe, S, Sb, Cu, C, Hg, Sn) in Lösungen
- Batchversuche mit natürlichen und synthetischen Abfällen unter aeroben und anaeroben Versuchsbedingungen und unter Verwendung unterschiedlicher Kornfraktionen
- Laserablationsanalytik an Originalabfällen und den Rückständen aus Batchversuchen (aerob/anaerob) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Kornfraktionen
- Speziesanalytische Bestimmung redoxsensitiver Elemente in Eluat, Oxidationszustände ausgewählter redoxsensitiver Elemente und Bindungsform von Schwermetallen in bestimmten Abfallphasen
- Analyse von Reaktionsmechanismen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 C 1264
Vorhabensbezeichnung: Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salinarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2005 bis 30.04.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 627.883,00 EUR	Projektleiter: Dr. Minkley	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit Auffahrung einer Wetterstrecke über dem Gebirgsschlagfeld von 1996 in der Grube Teutschenthal sind die Voraussetzungen für Untersuchungen der Schädigungsauswirkungen in der das Bruchfeld umgebenden hangenden Salinarbarriere gegeben. Neben den experimentellen In-situ- und Laboruntersuchungen sind Arbeiten zur Vervollständigung der Schädigungsmechanik und gebirgsmechanische Berechnungen zur Dimensionierung von Salinarbarrieren vorgesehen. Im Ergebnis des Beweissicherungsprogramms lässt sich eine Sicherheit gegenüber einem Integritäts- und Dichtheitsverlust von Salinarbarrieren ausweisen, die letztendlich auf Versuchen im Maßstab 1:1 unter extremen dynamischen Beanspruchungen basiert, die um ein Vielfaches höher sind als quasi statische Beanspruchungen. Die Forschungsergebnisse sollen zu einer Dimensionierungsrichtlinie für Salinarbarrieren zur Gewährleistung eines dauerhaften, dichten Einschlusses unter den anthropogenen und geogenen Randbedingungen in der flachen und steilen Lagerung führen und somit für eine praktische Umsetzung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen zur Verfügung stehen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Vervollständigung der Schädigungsmechanik
- AP2: In-situ-Untersuchungen zu den Schädigungsauswirkungen in der Salinarbarriere nach starker dynamischer Beanspruchung
- AP3: Laboruntersuchungen zu den Schädigungsauswirkungen an gewonnenen Bohrkernproben aus der dynamisch beanspruchten Salinarbarriere
- AP4: Geomechanische Berechnungen zur Dimensionierung von Salinarbarrieren für ein Endlager in der flachen und steilen Lagerung
- AP5: Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie für die erforderliche Mächtigkeit von Salinarbarrieren zur Erlangung des dauerhaften Einschlusses
- AP6: Erarbeitung des Abschlussberichtes und Dokumentation der Ergebnisse.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Mit der entwickelten nicht-lokalen Version des visko-elasto-plastischen Stoffmodells für ebene Modellgeometrien wurden Laborversuche an Salinargesteinen nachgerechnet. Die Berechnungsbeispiele zeigen, dass sich mit der nicht-lokalen Erweiterung das netzabhängige Schädigungsverhalten beseitigen lässt. Der in das Stoffmodell eingeführte Parameter zur Berücksichtigung der charakteristischen Länge der Mikrostruktur steht im Zusammenhang mit der Scherbandbreite und steuert das Entfestigungsverhalten. Für die Berechnung komplexerer Hohlraumstrukturen sind weitere Entwicklungsarbeiten erforderlich, um die Recheneffizienz zu verbessern.
- AP2: Entlang eines 1800 m langen Profils in der Wetterstrecke über dem Bruchfeld wurden in 19 Bohrungen Frac-Tests und Permeabilitätsmessungen durchgeführt. Über dem Bruchfeld liegt die minimale Hauptspannung 11 Jahre nach dem Gebirgsschlag noch deutlich unter dem lithostatischen Teufendruck. Die gemessenen Spannungen stimmen gut mit den unter Benutzung des visko-elasto-plastischen Stoffmodells berechneten minimalen Hauptspannungen in der Salinarbarriere überein. Die im Leine-Steinsalz gemessenen Permeabilitätswerte in der beim Gebirgsschlag dynamisch stark beanspruchten Steinsalzbarriere liefern Werte, wie sie auch im nicht beanspruchten Steinsalz gemessen werden.
- AP3: Über dem Bruchfeld wurden 10 Kernbohrungen im Leine-Steinsalz gestoßen und die Bohrkern zur Untersuchung an das IfG geliefert.
- AP4: Für eine typische Diapir-Struktur ist ein gebirgsmechanisches Berechnungsmodell für ein Endlager in der steilen Lagerung entwickelt worden. Unter Nutzung des visko-elasto-plastischen Stoffmodells für Salinargesteine sind erste Berechnungen zum Grundspannungszustand und zur thermomechanischen Kopplung durchgeführt worden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Weiterentwicklung des nicht-lokalen visko-elasto-plastischen Stoffmodells und Testrechnungen mit komplexen geomechanischen Strukturmodellen.
- AP2: Über die ursprünglich geplanten In-situ-Untersuchungen hinausgehend, Aufbau einer Langzeit-Permeabilitätsmessstelle in einem Bohrloch im Leine-Steinsalz über dem Bruchfeld.
- AP3: Herstellung von Prüfkörpern aus den angelieferten Bohrkernen aus dem Leine-Steinsalz und Durchführung von Permeabilitätsmessungen unter triaxialer Einspannung.
- AP4: Aufbau eines geomechanischen Berechnungsmodells für ein Endlager in einer typischen geologischen Struktur in der flachen Lagerung und Durchführung gekoppelter thermomechanischer Berechnungen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- MINKLEY, W. (2008): Integrationsverhalten von Salinarbarrieren. FZK- PTKA, WTE
8. Projektgespräch 06./07. Mai 2008, Wissenschaftliche Berichte (in Vorbereitung)

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 1275
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt TUC: Gekoppelte Modellierung des C:HM Verhaltens von selbstverheilendem Salzversatz		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2005 bis 31.03.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 257.176,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Dieses Verbundprojekt verfolgt das Ziel, Programme für das HM-Verhalten von Salz und Bentonit (*FLAC3D* und *GeoSys/RockFlow*) mit geochemischen Modellberechnungen (*CHEMAPP* über *EQLink*) zu koppeln und Ergebnisse von gekoppelten Berechnungen anhand geeigneter Laborversuche an Vollprüfkörpern und an axialgelochten Großbohrkernen zu testen. Das Forschungsprojekt ist ein gemeinsames Vorhaben der GRS sowie der Universitäten Clausthal und Tübingen. Als Endergebnis des Teilprojektes wird ein numerisches Modell zur Untersuchung von Abschlussbauwerken mit SVV als Dichtelement mit Berücksichtigung der C:HM-Kopplung sowie der Wechselwirkungen zwischen Auflockerungszonen und Abschlussbauwerken zur Verfügung stehen. Ferner wird durch die enge Zusammenarbeit in einer gemeinsamen Programmentwicklung eine langfristige wissenschaftliche Kooperation angestrebt. Die numerischen Algorithmen für die Modellierung mechanischer Prozesse in tonigen und salinaren Medien sind methodisch sehr ähnlich. Daher ist ein weiteres Ziel dieses Teilprojektes eine Vereinheitlichung der Methoden zur Simulation inelastischer Deformationsprozesse in chemisch reaktiven Systemen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Kurzzeitversuche an ausgehärteten SVV Vollprüfkörpern
- AP2: Kompressionsversuche unter isostatischen Dauerbelastungen
- AP3: Kriechversuche bei einem konstanten Manteldruck
- AP4: Entwicklung eines neuen Stoffmodells für SVV zur Beschreibung des langfristigen Kompaktions- und Kriechverhaltens des SVV nach dem Aushärtungsprozess
- AP5: Modellentwicklung zur Beschreibung der Änderung von Porositäten und Permeabilitäten infolge mechanischer Kompaktion
- AP6: Implementierung des zu entwickelnden Stoffmodells für SVV ins FEM-Programm *FLAC3D*
- AP7: Implementierung der zu entwickelnden Porositäts-Permeabilitäts-Beziehung für SVV ins FEM-Programm *FLAC*

- AP8: Implementierung der Schnittstelle zwischen *FLAC3D* und *CHEMAPP* über *EQLink* und Anpassung numerischer Verfahren für C:HM-Modelle
- AP9: Überprüfung numerischer Modelle anhand von Versuchsergebnissen der GRS an Vollprüfkörpern und gelochten Großbohrkernen
- AP10: Modellierung des von der GRS in ASS durchzuführenden SVV-In-Situ-Versuchs
- AP11: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Da die durch Vermischen von SVV und Salzlösung hergestellten Prüfkörper deutlich geringere Streubreiten aufweisen, wurde im ersten Halbjahr 2008 diese Art der Prüfkörperherstellung weiter verfolgt und der Herstellungsprozess optimiert. So kann ein Sieden des Probenmaterials unterdrückt werden, indem die Ausgangsmaterialien auf ca. 5° C abgekühlt werden. Alle getesteten Mischmethoden haben jedoch gemeinsam, dass die Mischung sehr exakt erfolgen muss, um einen möglichst homogenen Prüfkörper zu erhalten. Kritisch sind bei der Prüfkörperherstellung vor allem das Einfüllen von SVV und NaCl – Lösung, das bereits in einem konstantem Verhältnis innerhalb weniger Sekunden erfolgen sollte, in den Probenherstellungsbehälter und die Zeit, in der SVV und Lösung vermengt werden.

Aufgrund des Wechsels der Projektleitung sind die bisher erledigten Arbeiten und die daraus resultierenden Zieländerungen in einem ausführlichen Zwischenbericht dokumentiert worden. Dieser Zwischenbericht bildet die Grundlage für die weiterführenden Arbeiten.

Zusätzlich zu den im Projektantrag vorgesehenen Versuchen wurden Versuche zur Messung der Gas- und Lösungspermeabilität durchgeführt und dabei das Innenleben des Prüfkörpers per Röntgentomographie festgehalten.

4. Geplante Weiterarbeiten

Auf eine weitere Optimierung der Prüfkörperherstellung wird aufgrund mangelnder Zeit verzichtet und stattdessen nach dem bestehenden Verfahren von vornherein ein Überschuss an potentiellen Prüfkörpern hergestellt. Die Proben werden aussortiert, bei denen die Anforderungen an die Homogenität nicht eingehalten werden konnten. Mit den AP1 bis AP3 ist begonnen worden, und die Versuche werden ergebnisorientiert weiter abgearbeitet. Hierbei deuten die bisherigen Versuche an, dass das Kompressionsverhalten deutlich ausgeprägter als das Kriechverhalten ist, wodurch im weiteren Verlauf möglicherweise eine Konzentration auf das Kompaktionsverhalten stattfinden kann.

Von der GRS ist ein Bericht zu Durchführung und Ergebnissen von laborativen Untersuchungen mit SVV – Material übergeben worden. Dabei ist das SVV – Material in die Bohrung axial gelochter Großbohrkerne eingebracht und anschließend aufgesättigt worden. Von diesen Untersuchungen ausgehend sollen Rechenmodelle für die Simulation der Großversuche und auch einer möglichen Bohrlochlagerung erstellt und Testläufe durchgeführt werden. Der Kristallisationsdruck wird dabei entsprechend den Messergebnissen der GRS berücksichtigt. Das erste Augenmerk wird hierbei auf dem mechanischen Verhalten zwischen SVV und umgebendem Steinsalz liegen.

Darüber hinaus wird zumindest orientierend angestrebt, SVV – Bohrkernmaterial zu untersuchen, das von der GRS in Metallrohren größeren Durchmessers eingebracht wurde und dort ausgehärtet ist. Die GRS will prüfen, ob eine Bebohrung möglich ist. Dabei ist allerdings zu beachten, dass dieses SVV – Material mit anderen Lösungen (nicht NaCl – Lösung) hergestellt ist.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 1285
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt GRS: Laborversuche und Geochemische Modellierung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2005 bis 31.03.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 508.179,00 EUR	Projektleiter: Dr. Moog	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die aktuell in der Entwicklung befindlichen Programme für die Modellierung hydraulischer und mechanischer Prozesse in Salz-/Bentonit-Barrieren MISES III (TUC) und Geo-Sys/RockFlow (ZAG) sollen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen gekoppelt und anhand geeigneter experimenteller Untersuchungen getestet werden (C:HM-Modellierung).

Dieses Teilprojekt:

- Gewinnung von Messdaten für die Überprüfung von Modellergebnissen der Programme MISES III und ROCKFLOW
- Anpassen der Schnittstelle EQLINK an die Erfordernisse von MISES III und ROCKFLOW

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Salz

- AP1.1: Stahlrohr: SVV+Q-Lauge/NaCl-Lösung
- AP1.2: Bohrkern: SVV+Q-Lauge
- AP1.3: Probenherstellung für TUC

AP2: Bentonit

- AP2.1: Einfluss der Ionenstärke
- AP2.2: Einfluss des pHs
- AP2.3: Einfluss des Ionenaustausches $\text{Na} < - > \text{Ca}$
- AP2.4: Einfluss von Ausfällungen im Porenraum

AP3: EQLINK

- AP3.1: Anpassung an MISES III und ROCKFLOW
- AP3.2: Modellierung des Ionenaustausches
- AP3.3: Auswertung von Rechenläufen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Fortführung von AP2.1, 2.3, 2.4:

Aufgrund der niedrigen Fluidflüsse dauern diese Versuche sehr lange. Austretende Lösungen werden beprobt um die Einstellung des Gleichgewichtes zu kontrollieren.

Zur Charakterisierung des Tonmaterials wurden Proben an die BGR geschickt.

AP3.1: Die Schnittstelle EQLINK wurde an die neue Version von ROCKFLOW angepasst.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fortführung von AP2.1, 2.3, 2.4.

Durch die vorgenommenen Zieländerungen sind die alten AP3.1 und 3.2 miteinander verschmolzen.

AP3.1 + 3.2: Das für eine alte Version von ROCKFLOW entwickelte Quellmodell für Tone wird auf die neue Version von ROCKFLOW angepasst. Für die Modellierung des Ionenaustausches wird die bereits implementierte Kopplung mit PHREEQC verwendet.

AP3.3: Weitere Durchführung von Testrechnungen für die Darstellung der Tonversuche.

5. Berichte, Veröffentlichungen

M. Xie; H. C. Moog; O. Kolditz (2007): Geochemical Effects on Swelling Pressure of Highly Compacted Bentonite: Experiments and Model Analysis; in: Theoretical and Numerical Unsaturated Soil Mechanics, Springer Proceedings in Physics (113), 93-100, Springer Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-69875-3 (Print) 978-3-540-69876-0 (Online).

Zuwendungsempfänger: Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstr. 7, 72074 Tübingen		Förderkennzeichen: 02 C 1295
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse. Teilprojekt Uni Tübingen: Validierung Numerischer Modelle für geochemische Prozesse in geotechnischen Dichteelementen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Daten und Instrumente für die Sicherheitsanalyse		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2005 bis 31.03.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 233.598,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Kolditz	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Verbundvorhabens ist es, aktuell in der Entwicklung befindliche Programme für die Modellierung hydraulischer und mechanischer Prozesse in Salz-/Bentonit-Barrieren MISES III (TUC) und GeoSys/RockFlow (UFZ) mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen zu koppeln und anhand geeigneter experimenteller Untersuchungen zu testen (C:HM-Modellierung).

Dieses Teilprojekt wird sich schwerpunktmäßig mit geochemischen Reaktionen in tonartigen Materialien sowohl in kristallinen als auch salinaren Wirtsgesteinen beschäftigen. Insbesondere geht es um die Einwirkung chemischer Prozesse auf hydro-mechanische Phänomene, wie z. B. Alterationen des Porenraums und damit einhergehende Veränderungen hydraulischer Eigenschaften. Die Kopplung chemischer mit hydro-mechanischen Prozessen soll durch die programmtechnische Verknüpfung der Codes EQLink/ChemApp und GeoSys/RockFlow (GS/RF) erfolgen. Alternativ wird eine Schnittstelle zum geochemischen Simulator GEMS (Paul-Scherrer-Institut, Schweiz) vorgeschlagen. Durch die Entwicklung dieser Programmschnittstellen kann zum Einen die Expertise beider Gruppen auf den Gebieten Geochemie (Braunschweig) und Hydromechanik (Leipzig) zusammengeführt werden. Ferner wird durch die enge Zusammenarbeit in einer gemeinsamen Programmentwicklung eine langfristige wissenschaftliche Kooperation angepeilt. Die numerischen Algorithmen für die Modellierung mechanischer Prozesse in tonigen und salinaren Gesteinen sind methodisch sehr ähnlich, daher ist die zweite Zielstellung dieses Teilprojektes eine Vereinheitlichung der Methoden zur Simulation inelastischer, zeitabhängiger Deformationsprozesse in chemisch reaktiven Systemen (Zusammenarbeit mit TUC).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Arbeitsprogramm besteht aus drei aufeinander aufbauenden Arbeitspaketen:

AP1: Modellentwicklung

AP2: Softwareentwicklung

AP3: Modellanwendung auf experimentelle Daten der Projektpartner (Modellvalidierung)

AP4: abschließende gemeinsame Veröffentlichung der wichtigsten Projektergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In dieser Projektphase wurde die programmtechnische Umsetzung der Schnittstelle GeoSys/RockFlow und dem geochemischen Simulator GEM realisiert (AP2) (Shao et al. 2008a), sowie die Verifizierung des gekoppelten Codes anhand ausgewählter Testbeispiele vorgenommen wurde (AP3) (z. B. Lösungs-Fällungs-Reaktionen). Hervorzuheben ist, dass das gekoppelte Programmsystem GeoSysGEM in der Lage ist, komplexe geochemische Systeme, wie Solid-Solutions zu berechnen (AP3) (Shao et al. 2008b). Dies ist eine essentielle Erweiterung in der reaktiven Transportsimulation insbesondere für den geochemischen Rückhalt von Nukliden. Eng verbunden mit diesem BMBF Vorhaben ist das internationale Benchmark-Projekt DECOVALEX-IV für die Verifizierung von THC-Modellen (GeoSys/RockFlow, TOUGH-REACT (DOE), COUPLYS with THAMES (JAEA)), das erfolgreich abgeschlossen wurde (Birkholzer et al. 2008).

Durch den Wechsel der Arbeitsgruppe von Tübingen nach Leipzig kam es zu Verzögerungen in der Projektbearbeitung und eine kostenneutrale Verlängerung des Vorhabens bis 03/2009 wurde beantragt. Dr. Xie war für ein Jahr in einem Ingenieurbüro in Kanada tätig und arbeitet seit April 2008 für die GRS in Braunschweig. Durch die Gewinnung von Herrn Dr. Görke und Frau Kalbus konnte die Arbeitsgruppe in den Bereichen Mechanik und Hydraulik am UFZ verstärkt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

In der nächsten Projektphase sind folgende Arbeitsschritte geplant:

- Die Arbeitsgruppe in Leipzig übernimmt die Modellierung der SVV- und Bohrkernversuche, die durch GRS und TUC durchgeführt wurden.
- Dabei sollen systematisch folgende Prozesse untersucht werden: nichtlineare Poro-Elastizität, Visco-Poro-Elastizität und Kristallisationsdruck.
- Der Entwicklungsschwerpunkt liegt in der Implementierung von instationären Kriecheffekten (stationäres Kriechen, z. B. BGRa Modell ist bereits verfügbar).
- Die Schnittstelle zwischen GeoSys und FLAC3D wird weiterentwickelt, dadurch sollen direkte Vergleiche insbesondere geomechanischer Modelle ermöglicht werden.
- Weiterhin die Parallelisierung von reaktiven Transportmodellen zur Verbesserung der Recheneffizienz (siehe auch Bericht zum Vorhaben 02C1114).

5. Berichte, Veröffentlichungen

Birkholzer JT et al. (2008): Long-Term Permeability/Porosity Changes in the EDZ and Near Field due to THM and THC Processes in Volcanic and Crystalline-Bentonite Systems, DECOVALEX-THMC Project Task D, Final Report, SKI Report 2008:45

Rutqvist J., Barr D., Birkholzer J.T., Chijimatsu M., Kolditz O., Liu Q, Oda Y, Wang, W and Zhang C. (2008): Results from an International Simulation Study on Coupled Thermal, Hydrological, and Mechanical Processes near Geological Nuclear Waste Repositories. J Nuclear Technology, 163(1): 101-109.

Shao H, Dmytrieva SV, Kolditz O, Kulik DA, Pfingsten W, Kosakowski G (2008a): GeoSysGEM: A coupled code for reactive transport modeling. Technical Report, Helmholtz Center for Environmental Research, Department of Environmental Informatics.

Shao H, Dmytrieva SV, Kolditz O, Kulik DA, Pfingsten W, Kosakowski G (2008b): Reactive transport of multiple non-ideal solid solutions, submitted to Ground Water.

Zuwendungsempfänger: Universität Leipzig, Ritterstr. 26, 04109 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 C 1305
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteeinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt Uni Leipzig: Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2005 bis 31.10.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 579.486,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Ehrmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für die Detektion und Charakterisierung von Problemzonen in der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponien liegt in Ansätzen ein komplexes Mess- und Auswerteeinstrumentarium vor, das in Ausgangsvorhaben (02C0558, 02C0568, 02C0578 und 02C0851, 02C0861, 02C0871) entwickelt wurde.

Das Ziel des aktuellen Vorhabens ist die Schaffung eines universellen integrierten geophysikalisches Mess- und Auswerteeinstrumentariums, das unter den allgemeinen Bedingungen der Entsorgung im Salinalgestein einsetzbar ist. Im Vorhaben werden geoelektrische und seismische Verfahren sowie spezielle Methoden der Salzgeologie - gekoppelt mit den in den Parallelvorhaben "-Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen (02C1315) und "-Sonarverfahren" (02C1325) bearbeiteten Verfahren - an verschiedenen Standorttypen in Verbindung mit Computermmodellierungen eingesetzt. Damit wird ein geophysikalischer Beitrag zur Erkennung, Bewertung und Behandlung von geologisch bedingten Problemen bei der untertägigen Entsorgung geleistet.

Die Ergebnisverwertung umfasst Patentrecherchen, Handlungsempfehlungen, marktfähige Dienstleistungsangebote und Lizenzvergabemodelle. Gegenstand des Vorhabens ist die Einbindung geoelektrischer und seismischer Verfahren in das Verbundvorhaben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Identifizierung und Charakterisierung der Referenzstandorte
- AP2: Messungen an den Referenzstandorten
- AP3: Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter im Labor und in situ
- AP4: FEM-Modellierungen, Szenarienanalyse zur geophysikalischen Erkundung an verschiedenen Standorttypen und geophysikalischer Beitrag zur Problembehandlung
- AP5: Weiterentwicklung des komplexen Mess- und Auswerteeinstrumentariums, Handlungsempfehlungen, Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die geoelektrischen und seismischen Messungen an den Referenzstandorten Sollstedt und Teutschenthal wurden ergänzt (Teutschenthal) und abgeschlossen.

Die reflexionsseismischen Untersuchungen in Teutschenthal wurden vergleichend mit verschiedenen Konfigurationen (K-UTEC AG, Universität Leipzig) durchgeführt. Das Profil der Universität Leipzig hatte eine Länge von 144 m mit 100 Hz Geophonen, für die Registrierung wurde eine 72-kanalige DMT-SUMMIT benutzt. Das Profil der K-UTEC AG umfasste ein 240 m langes Profil mit 40 Hz Ge-

ophonen sowie eine 48-kanalige BISON Apparatur. Das Processingergebnis der P-Wellenstapelsektionen zeigt für beide Untersuchungen die Internstruktur im Anhydrit (zwischen 15 m und etwa 25 m Tiefe). Die Stapelsektion der P-Welle des Leipziger Profils zeigt weiterhin deutliche Reflexionen tieferer Reflektorhorizonte bis in eine Tiefe von 100 m, die auf der Stapelsektion des K-UTEC-Profils nicht zu erkennen sind.

Ursachen dafür sind:

- die unterschiedliche Anregung der seismischen Welle. Es wurde in beiden Fällen mit einem 5 kg Vorschlaghammer angeregt. Unterschiede gab es bei der Ausführung der Anregung, die entweder mit oder ohne Schlagplatte auf bzw. neben der verdichteten Streckensohle durchgeführt wurden. Um den Einfluss auf das Ergebnis zu verifizieren wurde im Februar ein seismischer Quellentest auf der Verbindungsstrecke Teutschenthal-Angersdorf durchgeführt. Zur Anregung wurden 5 kg-Vorschlaghammer, ein 5 kg Plastikhammer jeweils mit und ohne Schlagplatte sowie ein P-Wellen-Vibrator zum Einsatz gebracht.
- Weiterhin fehlen aufgrund der Beschränkung der BISON-Apparatur auf 48 Kanäle in den Registrierungen des K-UTEC-Profils die Schüsse mit den großen Offsets, also die Informationen aus größeren Tiefen. Die geringere Kanalanzahl stellt auch bei der Signalbearbeitung eine Einschränkung des Stapelgrads und damit ein schlechteres Signal-Rausch-Verhältnis dar.

Die numerischen 3D-FEM-Modellierungen geoelektrischer Untertage-Messungen wurden fortgesetzt. Durch die Verbesserung der rechentechnischen Möglichkeiten und des Inversionsalgorithmus ist es mit Hilfe der Modelldaten gelungen, den eindeutigen Nachweis zu erbringen, dass durch Messungen auf mehreren räumlich angeordneten Profilen und 3D-Inversion eine gewisse Richtungszuordnung von Widerstandsanomalien möglich wird. Für die konkrete Messsituation am Referenzstandort Teutschenthal wurden zur Simulation von geoelektrischen Messungen Finite-Elemente-Modelle (2D und 3D) unter Einbeziehung der Ergebnisse der anderen geophysikalischen Verfahren (Georadar, Seismik, Sonar) weiterentwickelt. Durch deren Analyse kann die Mehrdeutigkeit der Interpretation der Messergebnisse eingeschränkt werden.

Die Labormessungen (Wassergehalts- und Dichtebestimmungen sowie Messungen des spezifischen elektrischen Widerstandes in Abhängigkeit vom Wassergehalt an Proben vom Stoß der Referenzstrecke in Teutschenthal) wurden weitergeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschließende Auswertung der geoelektrischen und seismischen Messungen auf der Referenzmessstrecke in Teutschenthal-Angersdorf, ergänzende numerische FEM-Modellierungen geoelektrischer Untertage-Messungen, Zusammenstellung der Ergebnisse der Laboruntersuchungen an Gesteinsproben von den Referenzstandorten
- Zusammenfassung der Ergebnisse und Erstellung des Abschlussberichts
- Veröffentlichung und Präsentation der Ergebnisse auf internationaler Fachtagung „Near Surface 2008“ in Krakow und zum 5. Fachgespräch „Geophysik und Barriersysteme“ in Leipzig

5. Berichte, Veröffentlichungen

Just, A., Rücker, C., Serfling, U., Schütze, C. (2008): Interpretation geoelektrischer Messungen in einem Salzbergwerk mit Hilfe von 3D FE-Modellierungen.- Proc. 68. Jahrestagung der DGG, 3.-6.3.2008, Freiberg, S. 140.

Schütze, C., Rücker, C., Serfling, U., Matthes, K., Just, A. (2008): Strukturelle Erkundung und Prozessbeobachtung im Salinar – Möglichkeiten und Grenzen untertägiger DC-geoelektrischer Messungen. – Proc. 68. Jahrestagung der DGG, 3.-6.3.2008, Freiberg, S. 245.

Schütze et al. (2008): Fortschritte bei der Anwendung geophysikalischer Messmethoden - Ergebnisse aus dem Verbundforschungsvorhaben „Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteeinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar“. – 8. Projektstatusgespräch, Forschungszentrum Karlsruhe, 6./7.5 2008.

Zuwendungsempfänger: Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30655 Hannover		Förderkennzeichen: 02 C 1315
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt GGA: Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2005 bis 31.10.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 340.080,00 EUR	Projektleiter: Ziekur	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für die Detektion und Charakterisierung von Problemzonen in der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponien liegt in Ansätzen ein komplexes Mess- und Auswerteinstrumentarium vor, das in Ausgangsvorhaben (02C0558, 02C0568, 02C0578 und 02C0851, 02C0861, 02C0871) entwickelt wurde.

Das Ziel des aktuellen Vorhabens ist die Schaffung eines universellen integrierten geophysikalischen Mess- und Auswerteinstrumentariums, das unter den allgemeinen Bedingungen der Entsorgung im Salinalgestein einsetzbar ist. Im Vorhaben werden die Verfahren Elektromagnetik und Georadar mit den in den Parallelvorhaben "- Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung" (02C1305) und "- Sonarverfahren" (02C1325) in verschiedenen Standorttypen eingesetzt und die verwendeten Methoden verknüpft. Eine aufwändige geostatistische Auswertung aller geophysikalischen Messergebnisse wird eine quantitative Charakterisierung von Problemzonen ermöglichen. Damit wird ein geophysikalischer Beitrag zur Erkennung, Bewertung und Behandlung von geologisch bedingten Problemen bei der untertägigen Entsorgung geleistet.

Die Ergebnisverwertung umfasst Patentrecherchen, Handlungsempfehlungen, marktfähige Dienstleistungsangebote und Lizenzvergabemodelle.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Identifizierung und Charakterisierung der Referenzstandorte
2. Messungen an den Referenzstandorten
3. Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter im Labor und in situ
4. Quantitative Charakterisierung von Problemzonen durch geostatistische Auswertung aller geophysikalische Messergebnisse
5. Weiterentwicklung des komplexen Mess- und Auswerteinstrumentariums, Handlungsempfehlungen, Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Radarergebnisse des Standortes *Sollstedt* wurden aufbereitet und Dr. Schwandt für die weitere geologische Interpretation zur Verfügung gestellt. Die gewonnenen Multi-Offset-Daten wurden hinsichtlich einer Minimierung der Messaufstellung untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass ein auf 8 verschiedene Antennenabstände reduzierter Datensatz ähnliche Verbesserungen zeigt

wie der gesamte Datenumfang von 28 Offsets. Durch die Reduzierung des Messaufwandes wird sichergestellt, dass sich das Multi-Offset-Verfahren für einen wirtschaftlichen Einsatz in Bergwerken eignet.

Die im Rahmen dieses Projektes gewonnenen Erkenntnisse wurden anhand eines Vortrages (UCHTMANN, 2008b) und anhand von Posterbeiträgen (UCHTMANN, 2008a, d) auf einer nationalen und einer internationalen Tagung präsentiert. Des Weiteren erfolgten zwei tagungsparallele Veröffentlichungen (UCHTMANN, 2008c, d).

Die quantitative Charakterisierung von Problemzonen im Salinar wurde mit den multivariaten Lernverfahren Support-Vector-Machines (SVM) und künstliche neuronale Netze (ANN) fortgeführt und mit einer univariaten statistischen Methode ergänzt. Zur Anwendung der univariaten Methodik wurde auf die Erfahrungen des ersten Projektes Salinargeophysik zurückgegriffen. Da in dem ersten Projekt keine Auswertesoftware erstellt wurde, musste die Methode neu aufgearbeitet und programmiert werden. Die Anwendung der univariaten Methode erforderte eine umfangreiche statistische Bearbeitung der Daten aller 4 geophysikalischer Verfahren aus beiden Bergwerken. Für Sollstedt ergab sich ein deutlicher anomaler Bereich, der weitestgehend mit dem Widerstandsminimum der Geoelektrik übereinstimmte. Bei ausschließlicher Berücksichtigung der Wellenverfahren ohne Geoelektrikdaten ergaben sich keine ausgezeichneten Muster mit Hinweisen auf anomale Bereiche. Die univariate Auswertemethodik wurde ebenfalls auf die Teutschenthaldaten angewandt. Auch hier entsprechen die Anomalienmuster i. W. den Geoelektrikanomalien. Aufgrund dieser Ergebnisse muss davon ausgegangen werden, dass diese Auswertemethode für sich allein keine ausreichende Aussagesicherheit bietet.

Mit den multivariaten Methoden konnten bessere Resultate erzielt werden, da hiermit die anomalen Bereiche als deutliche Muster hervortreten. Im Falle von Teutschenthal ergeben sich zur Geoelektrik ähnliche, jedoch anders gelagerte anomale Muster. Damit kann die Lage anomaler Zonen präzisiert werden. Die Ergebnisse deuten daraufhin, dass es sinnvoll und günstig ist, beide quantitativen Auswerteverfahren zur Erkennung von Anomalienmustern einzusetzen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Zusammenführende Datenintegration zur Anomalienerfassung
- Abschlussbericht
- Handlungsempfehlungen

5. Berichte, Veröffentlichungen

UCHTMANN, S. (2008a). Vergleich verschiedener Antennen bei der Georadarerkundung in Salzbergwerken. – Poster, *68. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft*, 03.-06.03.2008; Freiberg.

UCHTMANN, S. (2008b). Common-Midpoint- und Multi-Offset-Messungen als Interpretationshilfe und zur Verbesserung von Georadarmessungen untertage. – Vortrag, *68. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft*, 03.-06.03.2008; Freiberg.

UCHTMANN, S. (2008c). Multi-Offset-Messungen im Salinar. – *Mitteilungen der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft e.V.*, Sonderband I: S. 48 – 53.

UCHTMANN, S. (2008d). Improved exploration in salt deposits by multi-offset measurements. – Poster und Extended Abstract, *12th International Conference on Ground Penetrating Radar, Birmingham, UK*.

EHRET, B. (2008a). Gesteinsklassifizierung mit SVM und ANN aus Radardaten. – Poster, *68. Jahrestag. Dt. Geophys. Ges.*, 03.-06.03.2008; Freiberg.

EHRET, B. (2008b). Nonlinear relations between ground penetrating radar data and patterns of rock. - Poster, *European Geosciences Union General Assembly*, 13.-18.04.2008; Wien, Österreich.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastr. 27 c, 80686 München		Förderkennzeichen: 02 C 1325
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteeinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt FhG: Sonarverfahren		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2005 bis 31.10.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 477.455,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kühnicke	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für die Detektion und Charakterisierung von Problemzonen in der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponien liegt in Ansätzen ein komplexes Mess- und Auswerteeinstrumentarium vor, das in Ausgangsvorhaben (02C0558, 02C0568, 02C0578 und 02C0851, 02C0861, 02C0871) entwickelt wurde.

Das Ziel des aktuellen Vorhabens ist die Schaffung eines universellen integrierten geophysikalischen Mess- und Auswerteeinstrumentariums, das unter den allgemeinen Bedingungen der Entsorgung im Salinar flexibel einsetzbar ist. Gegenstand des Vorhabens ist die Einbindung der Sonarverfahren in das Verbundvorhaben, bei dem außerdem die Bearbeitungskomplexe „Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung“ (02C1305) und „Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen“ (02C1315) an verschiedenen Standorttypen eingesetzt werden. Damit wird ein geophysikalischer Beitrag zur Erkennung, Bewertung und Behandlung von geologisch bedingten Problemen bei der untertägigen Entsorgung geleistet.

Die Ergebnisverwertung umfasst Patentrecherchen, Handlungsempfehlungen, marktfähige Dienstleistungsangebote und Lizenzvergabemodelle.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Auswahl und Charakterisierung von Referenzmessorten
- AP2: Sensorentwicklung hochempfindlicher niederfrequenter Ultraschallaufnehmer
- AP3: Entwicklung bergbautauglicher Sonar-Messtechnik mit hohem Schutzgrad
- AP4: Parametergewinnung, Messkampagnen
- AP5: Weiterentwicklung der Rekonstruktionsverfahren
- AP6: Auswertung des Datenmaterials, Datenfusion
- AP7: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

AP2: Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

AP3: Die Softwareentwicklung für das bergbautaugliche 16-kanalige Ultraschall-Messsystems wurde fortgesetzt. Es wurden der Prototyp eines vielkanaligen, dezentral aufgebauten Prüfsystems »AE.net« und spezifische Messsonden entwickelt, mit denen Prüfaufgaben an der Tagesoberfläche, von untertägigen Auffahrungen aus sowie in Bohrungen gelöst werden können. Für alle Gerätemodule besteht die Möglichkeit zur Fernbedienung über Internet. Bestandteil des Prüfsystems sind Sensoren mit integrierten Vorverstärkern und analogen Bandfiltern für Volumen-, Platten- und Oberflächenwellen.

AP4: Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

AP5: Im Berichtszeitraum keine Aktivitäten.

AP6: Schwerpunkt der abschließenden Interpretationsarbeiten war die Datenfusion der unterschiedlichen Messverfahren. Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte das SAFT-Inversionsverfahren für die in-situ gewonnenen Messwerte stetig weiterentwickelt werden. Die Modularität des geschaffenen Auswertesystems gestattete die Übergabe unterschiedlich prozessierter Sonardaten als Trainingsdaten für die bei der Komplexinterpretation eingesetzte Mustererkennung.

AP7: Es wird ein gemeinsamer Abschlussbericht mit den Projektpartnern erstellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Das bergbautaugliche 16-kanalige Sonar-Messsystem wird stetig weiterentwickelt. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sollen am 2. Oktober 2008 im Rahmen des 5. Fachgesprächs „Geophysik und Barriersysteme“ am Institut für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig vorgestellt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	Förderkennzeichen: 02 C 1335
Vorhabensbezeichnung: Qualifizierung von Strömungsbarrieren in Salzformationen, Phase 1 bis Phase 4	
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2005 bis 28.02.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008
Gesamtkosten des Vorhabens: 945.114,00 EUR	Projektleiter: Dr. Herbert

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bisherige Entwicklungen von geotechnischen Barrieren für ein Endlager oder eine Untertage-deponie in Salzformationen zeigten nur zum Teil Erfolg versprechende Resultate. Langzeit-stabile Barrieren, die auf arteigenes Material des Wirtsgesteins Salz zurückgreifen, wurden bisher nicht systematisch entwickelt oder getestet. Insbesondere bei Vorhandensein von leichtlöslichen Mineralen im Wirtsgestein, wie Carnallit oder Tachhydrit, stehen derzeit keine adäquaten Konzepte zur Verfügung.

Mit den chemisch und mineralogisch verwandten Materialien Selbstverheilender Versatz (SVV) und AISKRISTALL wurden in den vergangenen Jahren zwei Erfolg versprechende Werkstoffe entwickelt, die bereits im Labor oder im Technikum ihre jeweilige Einsatzfähigkeit als Barrierematerial zeigten. Das Zusammenwirken beider Werkstoffe und die Zuordnung von im wesentlichen Dicht- und Tragfunktion ist bisher jedoch nicht untersucht worden. Dies soll Gegenstand des vorliegenden Projektes sein. Dabei wird das generelle Ziel verfolgt, die Materialien soweit zu qualifizieren, dass sie denselben Entwicklungsstand haben wie bisher untersuchte Barrierematerialien (z. B. Salzbeton oder Bentonit).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Entwicklung eines technischen Nachweiskonzeptes und Planung von Experimenten im Labor, im Technikum und in situ
- AP2: Vorversuche im Labor und Technikum sowie Nachweis der technischen Realisierbarkeit
- AP3: Durchführung und Auswertung von Verifikationsexperimenten
- AP4: Dokumentation der Ergebnisse und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde durch Druckbeaufschlagung mit $\text{MgCl}_2\text{-CaCl}_2$ -Lösung über die Flutungsleitung am oberen Ende des SVV-Verschlusses, im vertikalen Bohrloch im Carnallit der ASSE, auf der 574m-S, überprüft, ob die vorhandenen Laugenwegsamkeiten unterhalb des SVV-Stopfens abgedichtet werden konnten. Das Ergebnis war positiv. Bei einem Lösungsdruck von 15 bar ist keine Lösung durch den SVV-Stopfen oder am Stopfen vorbei in die bekannten Wegsamkeiten eingedrungen. Dieser Druck wurde über einen Zeitraum von 5 Monaten aufrechterhalten. Überprüft wurde die Dichtheit des Stopfens durch die Beobachtung der Druckaufnehmer im Bauwerk sowie durch die Inaugenscheinnahme der ehemaligen Tropfstelle in der Wendel unterhalb des Versuchsortes, wo die Lösung zu einem früheren Zeitpunkt, als der SVV-Stopfen noch nicht ausreagiert war, ausgetreten war. An allen im Bauwerk eingebauten Fühlern ist der Druck kontinuierlich über 20 bar angestiegen und steigt auch jetzt noch langsam weiter an. Bei diesen Drucken handelt es sich um Kristallisationsdrücke des SVV. Aus den eingepressten Laugenmengen ergibt sich eine Permeabilität des Gesamtsystems SVV-Stopfen/Auflockerungszone/Carnallit-Gebirge von $< 10^{-19} \text{ m}^2$. Dies Ergebnis ist so positiv, dass die geplante Fortführung der großmaßstäblichen In-situ-Versuche in einem nun horizontalen Bohrloch im Tachhydrit in der Grube Teutschenthal begonnen werden könnte. Da die beantragte finanzielle Aufstockung des Vorhabens im Berichtszeitraum nicht entschieden worden ist, konnten einige der geplanten Nachuntersuchungen nicht durchgeführt werden. Insbesondere wurden keine Kernproben aus den großkalibrigen Druckrohren in der ASSE und aus dem vertikalen In-situ-Bohrlochversuch gezogen. Sinn dieser Nachuntersuchungen ist die Überprüfung der Porosität, der Permeabilität, der mineralogische Zusammensetzung und der geomechanischen Kennwerte des ausreagierten SVV-Körpers. Diese Nachuntersuchungen wären wünschenswert und würden wichtige Zusatzinformationen liefern. Aus Geldmangel wurden sie zunächst zurückgestellt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Falls die Mittelaufstockung durch den BMBF genehmigt werden sollte, sind im zweiten Halbjahr die o. g. Nachuntersuchungen vorgesehen.

Weiterhin läuft die Planung des großmaßstäblichen In-situ-Versuches in einem großkalibrigen horizontalen Bohrloch in Theutschenthal.

Mit den Arbeiten in Theutschenthal könnte kurzfristig begonnen werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 1355
Vorhabensbezeichnung: Weiterentwicklung der EDV-Software INFIL zur Simulation des druckbetriebenen Infiltrationsprozesses von Fluiden in ein nicht permeables Barrieren-Gebirge (Salinar)		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2005 bis 31.12.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 581.000,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen von Standortvergleichen und standortbezogenen Sicherheitsanalysen müssen die Änderungen von Tragverhalten und langzeitsicherer Abdichtungsfunktion der Barrierengesteinsformation Salzgestein, welche bei einer druckgetriebenen Infiltration von fluiden Medien in das ein Endlager umgebende Salinalgelände zu erwarten sind, qualitativ und quantitativ beschrieben werden können. Dazu sind als Grundlage die zur Infiltration führenden und die davon beeinflussten Prozesse zu identifizieren und zu beschreiben (physikalische Modellierung). Des Weiteren muss ein Instrumentarium erarbeitet werden, mit dessen Hilfe das Tragverhalten und die Funktionsfähigkeit von Gebirge (sowohl als Tragelement wie auch als geologische Barriere) und geotechnischen Barrieren (als Verbundkonstruktionen von umgebendem Gebirge und bautechnischen Abdichtungs- / Tragelementen) analysiert und mit hinreichend zuverlässiger Sicherheit prognostiziert werden können.

Es ist daher Ziel des Vorhabens, unter Nutzung und durch zusätzliche Erweiterung bestehender Software, das vom Antragsteller entwickelte Infiltrationsmodell nach Lux mit den notwendigen Modifikationen auf verschiedene Fluide als Infiltrationsmedium zu übertragen und anzuwenden. Aufbauend auf abgesicherten laborativen Erkenntnissen soll herausgearbeitet werden, welche Erweiterungen zukünftig erforderlich sind, um das vorhandene Infiltrationsmodell auch auf Gase als Infiltrationsmedium anwenden zu können.

Die Validierung des Infiltrationsmodells erfolgt in einem ersten Schritt durch die Simulation von Laborversuchen (back-analysis). Durch die Anwendung auf ein exemplarisches Grubensystem ist eine weitere Validierung des Infiltrationsmodells beabsichtigt (Plausibilitätsanalyse).

Das beantragte Vorhaben trägt dazu bei, die Prädiktionsqualität der für eine Prognose des Langzeitverhaltens und der Barrierenintegrität erforderlichen Nachweise zu erhöhen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Infiltrationsversuche an Salzprüfkörpern mit unterschiedlichen Fluiden
- AP2: Infiltrationsversuche an Salzprüfkörpern aus verschiedenen Lokationen
- AP3: Anpassung / Erweiterung des vorhandenen Infiltrationsmodells (Infiltrationsraten- / Infiltrationsmengenmodell)
- AP4a: Implementierung des erweiterten Infiltrationsmodells und Kopplung an das FEM-Programm MISES3
- AP4b: Implementierung des erweiterten Infiltrationsmodells und Kopplung an das FDM-Programm FLAC3D
- AP5: Versuche an vollständig oder teilweise axial gelochten Prüfkörpern
- AP6: Validierung der rechnerischen Simulation des Infiltrationsprozesses anhand laborativer Untersuchungen an speziellen Prüfkörpern
- AP7: Demonstration der Wirkungsweise der Simulationssoftware INFIL anhand von exemplarischen Beispielen
- AP8: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Versuche mit Tracer-Flüssigkeit und Lauge wurden und werden durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass Versuche mit Lauge nicht geeignet sind, die infiltrierten Bereiche zu identifizieren. Infiltrationsversuche mit Gas (Stickstoff) sind aufgenommen worden. Dazu ist im Vorfeld der Versuchsstand entsprechend umgebaut und erweitert worden.
- AP2: Versuche sind bislang an Prüfkörpern aus Asse-Steinsalz sowie drei weiteren Lokationen durchgeführt worden. Darüber hinaus sind erste Infiltrationsversuche mit Tracer-Flüssigkeit bei einem signifikant höheren Druckniveau erfolgt. Unter diesen Bedingungen ist überraschend eine so deutliche Trennung zwischen Infiltrations- und Strömungsphase wie in den bisherigen Versuchen nicht zu erkennen.
- AP3: Das Infiltrationsmodell wird weiterhin für eine 3D-Berechnung modifiziert mit dem Ziel einer Berücksichtigung von Schichtungseinflüssen auf die Infiltrationsfrontentwicklung. Das Infiltrationsmodell wurde für eine Berechnung an einem rotationssymmetrischen Modell mit dem Ziel der Berücksichtigung von thermisch bedingtem Druckaufbau modifiziert. Des Weiteren wurde das Infiltrationsmodell mit dem Ziel der Berücksichtigung einer Querinfiltration modifiziert. Unter dem Aspekt versetzter Grubenräume mit dem Versatz als porösem Material sind Erweiterungen hinsichtlich der stofflichen Modellierung bei mechanisch-hydraulischer Kopplung vorgenommen worden (Versatzkompaktion und Fluidruckaufbau). Die Berücksichtigung eines chemisch oder biologisch bedingten Gasdruckaufbaus in versetzten Grubenräumen ist in das Infiltrationsmodell aufgenommen worden. Die Gasbildung resultiert dabei vornehmlich aus Korrosionsprozessen und mikrobieller Zersetzung organischer Abfallstoffe. Zusätzlich wird der Gasdruck in der versetzten Strecke auch erhöht durch die Porenraumkonvergenz von Abfall und Versatz aufgrund der Kompaktion des Versatzkörpers durch das aufkriechende umgebende Gebirge.
- AP4: Die Implementierung und Verifikation der Kopplung des Infiltrationsmodells an das FDM-Programm FLAC3D ermöglichen bereits eine Berechnung von 3D-Modellen mit integrierter Simulation von Infiltrationsprozessen. Die Ergebnisse sind inzwischen zufrieden stellend, aber noch nicht abschließend validiert. Auch die Arbeiten zu einer effizienteren Datenverwaltung sind zum größten Teil abgeschlossen. Die Gleichungen zur Berücksichtigung eines thermisch bedingten Druckaufbaus wurden zur Kopplung an das FEM-Programm MISES3 implementiert. Auch die Gleichungen zur Berücksichtigung der Querinfiltration sind zur Kopplung an das FEM-Programm MISES3 implementiert worden. Die Erweiterung zur Berücksichtigung eines porösen Versatzmaterials ist in das Programmsystem INFIL-MISES3 sowie in das Programmsystem INFIL-FLAC3D implementiert und getestet worden.
- AP5: Die Versuche sind bislang an Vollprüfkörpern durchgeführt worden.
- AP6: Die Validierung des Infiltrationsmodells und die numerischen Simulationen werden parallel zur Weiterentwicklung der Simulationssoftware durchgeführt.
- AP7: Arbeiten an einem ersten Beispiel sind aufgenommen worden.
- AP8: Keine.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Weitere Versuche mit unterschiedlichen Fluiden / Salzgesteinen / Belastungsrandbedingungen.
- AP2: Weitere Versuche mit geändertem Infiltrations-Druckniveau.
- AP3: Weitere theoretische Ansätze sind zurzeit nicht vorgesehen; schwerpunktmäßig wird an der Umsetzung / Implementierung / Verifizierung bzw. Validierung gearbeitet.
- AP4: Die Arbeiten zur Kopplung FLAC3D-INFIL werden fortgesetzt. Die Implementierung der 3D-Infiltration wird fortgesetzt. Schwerpunkte sind dabei zurzeit die Verbesserung der Datenverwaltung und somit auch der Rechenzeiten sowie die Berücksichtigung von Gasbildungsprozessen in versetzten Grubenbauen.
- AP5: Die Versuchsdurchführung an vollständig oder teilweise axial gelochten Prüfkörpern wird fortgesetzt.
- AP6: Weitere Verifikations- und Validierungsberechnungen werden nach Erfordernis, insbesondere nach Programmweiterungen und im Zusammenhang mit der Kopplung an FLAC3D vorgenommen.
- AP7: Weiterführung der Arbeiten an exemplarischen Beispielen (Bernburg-Kaverne, Bernburg-Bohrlochfracversuch mit Gas).
- AP8: Abschlussbericht

5. Berichte, Veröffentlichungen

Lux, K.-H. (2007): Long-term Behavior of Sealed Brine-filled Cavities in Rock Salt Mass – A new Approach for Physical Modelling and Numerical Simulation, Proceedings of the 6th Conference on the Mechanical Behavior of Salt in Hannover, Germany.

Zuwendungsempfänger: K-UTEC AG Salt Technologies, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen		Förderkennzeichen: 02 C 1395
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 1		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2005 bis 31.12.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 615.337,00 EUR	Projektleiter: Dr. Heuchel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben wird auf der Basis der Zusammenarbeit durch folgende Institutionen bearbeitet:

- Institut für Bergbau, TU Clausthal
- Institut für Nichtmetallische Werkstoffe, TU Clausthal
- K-UTEC AG Salt Technologies – bis 31.12.2007 Kali-Umwelttechnik GmbH (K-UTEC), Sondershausen

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Innerhalb der Arbeitspakete 2 und 3 wurden folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- Röntgenografische und Strukturuntersuchungen an Magnesiabindersystemen auf Sulfatbasis
- Optimierung von Rezepturen auf der Basis der Magnesiabindersysteme auf Sulfatbasis
- Vorbereitung des kleintechnischen Versuchs

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Auf der Grundlage der ausgewählten Leim-Rezeptur mit einem Molverhältnis $MgO:MgSO_4$ von 3:1 und einer Druckfestigkeit (nach 7 Tagen) von ca. 15 – 20 MPa wurden Rezepturen für ein Baustoffsystem mit verschiedenen Zuschlagstoffen entwickelt. Es wurden inerte Zuschlagstoffe auf Quarzbasis (Quarzsand, Quarzmehl, Microsilica) in unterschiedlicher Körnung verwendet und Druckfestigkeiten von 25 – 28 MPa erreicht, die im Zielfeld für die 7-d-Druckfestigkeit liegen. Bei einem Volumenverhältnis von Leim: inerte Feststoff von 60:40 liegt jedoch die Verarbeitbarkeit unter einer Stunde, so dass der Anteil an inertem Feststoff stufenweise auf 32 Vol. % reduziert wurde. Die Mischung ist dennoch sedimentationsstabil und zeigt erwartungsgemäß eine längere Verarbeitungszeit von > 1,5 h bei Druckfestigkeiten von ca. 25 MPa (7-d-Werte).

Um die Verarbeitbarkeit weiter zu verbessern wurde ein breites Spektrum von 1 l Fließmitteln bzw. Verzögerern mit unterschiedlichen Wirksubstanzen in ihrem Einfluss auf das Sulfatsystem getestet. Ein Festigkeitsverlust - insbesondere der Frühfestigkeit - durch die Zugabe eines Fließmittels bzw. Verzögerers muss allerdings in Kauf genommen werden. Mit einem handelsüblichen Betonverzögerer auf Phosphatbasis kann die Verarbeitbarkeit auf > 2 Stunden verlängert werden, die Druckfestigkeiten liegen etwa um 20 MPa (7 d).

Im Verlauf der Bearbeitung wurden folgende Untersuchungen zur Charakterisierung der Rezepturen bzw. zur Aussteuerung der Eigenschaften durchgeführt:

- Erstarrungsverhalten
- Einfluss der Lagerungstemperatur auf die Phasenbildung und die Festigkeitsentwicklung
- Temperaturentwicklung unter adiabatischen Bedingungen
- Quellverhalten
- Fluiddurchlässigkeit
- Gaspermeabilität
- Verhalten bei Lagerung in gesättigter NaCl-bzw. Q-Lösung bei 20 °C.

Die Permeabilitätsmessungen mit NaCl-bzw. Q-Lösung führten nicht zu verwertbaren Ergebnissen. Bei einer Durchströmung mit NaCl-Lösung stellte sich erwartungsgemäß keine stabile Permeabilität ein, da lösliche Bestandteile aus dem Probekörper herausgelöst wurden. Bei der Prüfung gegen Q-Lösung setzte vermutlich eine Umsetzung der basischen Magnesiumsulphatphasen zu den entsprechenden chloridischen Phasen unter Expansion des Prüfkörpers ein. Als Folge dieser Umsetzung kristallisierte in der Apparatur Magnesiumsulfathydrat, sodass die Versuche abgebrochen werden mussten.

Probekörper der optimierten Rezeptur wurden auf ihre Gaspermeabilität untersucht, die etwa 2 Zehnerpotenzen geringer gemessen wurde als bei Mörtelsystemen auf Chloridbasis.

Röntgenografische Langzeituntersuchungen am Leimsystem MgO-MgSO₄-H₂O zeigten, dass bei einer Lagerung von Prüfkörpern unter Laborbedingungen (20 – 25 °C) unter Luftabschluss in einem Zeitraum von 60 Tagen eine allmählich verlaufende Umwandlung der festigkeitsbestimmenden Phasen erfolgte, die tendenziell zu einem geringen Festigkeitsverlust führten. Der Anteil an Periklas verringerte sich zugunsten der 3-1-8-Phase. An der Rezeptur mit Inertstoffen waren diese Phasenveränderungen nicht nachweisbar; die Veränderungen der Druckfestigkeiten fielen hier wesentlich geringer aus als beim Leimsystem.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Versuchsbetrieb der kleintechnischen Versuchsanlage wird in 08/2008 beginnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 1405
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 2		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2005 bis 30.09.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 330.406,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Langefeld	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Gesamtziel des Vorhabens ist die Weiterentwicklung und Optimierung bestehender Magnesiabinder-Systeme für Verschlussbauwerke in Untertage-Deponien und atomaren Endlagern im Salinar unter besonderer Berücksichtigung der Langzeitsicherheit, der Resistenz gegenüber zutretenden Lösungen, der Beherrschung der maximalen Abbinde Temperaturen und der Bereitstellung eines praktikablen Verfahrens.

Das Projekt beginnt mit der Grundlagenuntersuchung an Magnesiabindersystemen zum einen auf Basis von Alkali-Phosphaten (INW) und zum anderen auf Basis von Oxysulfaten (K-UTEK). Erfolgsversprechende Baustoffabstimmungen sollen in Folge umfangreicher Eignungsuntersuchungen im Labor unterzogen werden (INW, IBB). Daran schließen sich Handhabungsversuche zur Einbringung und Verarbeitbarkeit der Baustoffe (K-UTEK, IBB) sowie ein kleintechnischer Versuch im m³ - Bereich an.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Grundlagenuntersuchung zur Optimierung der Magnesiabinder-Alkali-Phosphat-Baustoffe (INW)
- AP2: Grundlagenuntersuchung zu dem Magnesiabinder Oxysulfat-System (K-UTEK)
- AP3: Gefügeuntersuchung an den Magnesiabindersystemen auf Phosphat- und Sulfat-Basis (INW)
- AP4: Untersuchungen zu den Eigenschaften der Baustoffe unter geomechanischen Gesichtspunkten (IBB)
- AP5: Handhabungsversuche (IBB, K-UTEK)
- AP6: Erprobung optimierter Systeme in einer kleintechnischen Versuchsanlage analog FuE-Projekt 02C1214 (K-UTEK)
- AP7: Versuchsauswertung, Abschlussberichte, Verwertungskonzept (alle Verbundpartner)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Während des Berichtszeitraumes wurden vorwiegend Untersuchungen in der Triaxialzelle mit Proben der Firma K-UTEC durchgeführt. Dabei handelt es sich um Proben des Systems $\text{MgO-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$. Parallel dazu wurden auch weiterhin die Proben auf Phosphatbasis des Institutes für nichtmetallische Werkstoffe (INW) geprüft. Bei beiden Versuchsreihen wurde mit einem axialen Druck von 15 MPa und einem Durchströmdruck von 6×10^5 Pa gearbeitet. Durchströmt wurde mit gesättigter NaCl-Lauge. Die Proben wurden 28 Tagen nach ihrer Herstellung in die Triaxialzelle eingebaut. Die Dauer eines Versuches beträgt ca. 4 Wochen. Nach Abschluss der Untersuchungen wurden folgende Ergebnisse festgestellt: Die Proben des INW zeigten keine Verformung und es konnte keine Durchströmung festgestellt werden. Bei den Proben auf Sulfatbasis der Firma K-UTEC konnte dagegen in diesem Zeitraum eine Durchströmung (qualitativ) mit Lauge festgestellt werden. Das lässt darauf schließen, dass sich die Probe durch die gesättigte NaCl-Lauge innerlich auflöst.

Anschließend wurden mit den Proben des Systems $\text{MgO-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ Durchlässigkeitsversuche (quantitativ), ebenfalls in einer Triaxialzelle durchgeführt. Da es bei einer Durchströmung mit gesättigter NaCl-Lauge zu besagten Auflösungserscheinungen kommt, wurde vorerst mit dem Medium Wasser durchströmt. Dabei ergab sich ein Durchlässigkeitsbeiwert von 1×10^{-9} m/s.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im folgenden Berichtszeitraum werden die verbesserten Rezepturen der Firma K-UTEC und des Institutes für Nichtmetallische Werkstoffe in der Triaxialanlage geprüft. Parallel dazu werden Durchlässigkeitsuntersuchungen mit gesättigter NaCl-Lauge und Q-Lauge stattfinden. Es werden weiterhin Versuche unternommen die Proben mit einem Tracer zu durchströmen, um das Eindringen im Probenkörper sichtbar zu machen.

Außerdem sollen erste Untersuchungen hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit an den Proben auf Phosphatbasis stattfinden sowie die Bestimmung der Permeabilität dieser Proben. Einen weiteren Untersuchungsschwerpunkt stellt das Anbindevermögen an das umgebende Salzgebirge dar.

Anschließend sollen folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

- REM-Aufnahmen,
- Beaufschlagung der Zylinderprobe mit diversen Salzlösungen in der Triaxialzelle,
- Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes sowie
- Bestimmung der Haftscherfestigkeit und Zugfestigkeit.

Ferner werden die Überlegungen zum Arbeitspaket 5: „Handhabungsversuche“ fortgeführt.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 1415
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 3		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2005 bis 31.12.2008	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 290.000,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Wolter	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Hauptziel ist die Entwicklung einer gebrauchsfähigen neuartigen Magnesiabinder-Rezeptur mit phosphatischer bzw. sulfatischer Bindung auf der Basis salinärer und/oder salinar-kompatibler Grundstoffe, die

- ein dichtes Gefüge entwickelt (minimale Lösungs- und Gaspermeabilität),
- gegenüber bisherigen Systemen eine deutlich höhere Wasser- und Laugenresistenz aufweist,
- eine entsprechend den geomechanischen Anforderungen ausreichende Stützwirkung und Kriechfähigkeit entwickelt und aufrechterhält,
- leicht einzubringen ist,
- keinen Verdichtungsaufwand erfordert, sondern durch autogene Quellreaktionen selbstverdichtend ist, kraftschlüssig an das umgebende Gestein anbindet, den Quelldruck dauerhaft aufrechterhält und über eine sekundäre Quellung bei Lösungszutritt Umläufigkeiten unterbindet,
- wenig Reaktionswärme freisetzt, um übermäßige Selbsterwärmung zu vermeiden und
- gemessen an den hohen Anforderungen, kostengünstig ist.

Weiterhin soll das Erhärtungsverhalten so steuerbar sein, dass – unbeschadet eines schnellen Erstarrens – die bei der Reaktion entstehende Wärme über einen langen Zeitraum emittiert und dabei auch gut aus dem Verschlussbauwerk abgeleitet werden kann.

Mineralische Bindemittel werden üblicherweise zusammen mit Mineralkörnungen als Verbundwerkstoff konzipiert. Die Magerung verfolgt dabei mehrere Ziele:

- Minimierung des Bindemittelanteils
- Minimierung des Anmischflüssigkeitsbedarfes
- Minimierung der Reaktionswärme bezogen auf den Baustoff insgesamt
- Verbesserte Wärmeableitung ins Nebengestein
- Schneller Aufbau des Expansionsdruckes durch Verminderung der anfänglichen Porosität
- Anpassung der Kriecheigenschaften an das umgebende Wirtsgestein
- Kostenersparnis.

Nach Abschluss dieser umfangreichen Untersuchungen gehen wir von einem Entwicklungsstand aus, der eine Bergerprobung bzw. einen großtechnischen Versuch (Versuchsdamm) zulässt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Rezepturenentwicklung
- Kalorimeteruntersuchungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im 1. Halbjahr 2008 wurde die entwickelte Rezeptur weiter optimiert. Die geplanten längeren Untersuchungen (Druckfestigkeitsprüfung 7d-118d) zeigten widersprüchliche Ergebnisse. Der Grund hierfür war die Unterbrechung der Erhärtungsreaktion durch das Abkühlen der Proben für die E-Modulmessung. Die E-Moduli können größtenteils mit den Druckfestigkeiten korreliert werden.

Der Phosphatgehalt konnte reduziert und der Salzgehalt erhöht werden, ohne hierdurch Einbußen in der Festigkeit hinnehmen zu müssen. Die ursprünglich verwendete Salzkörnung wird vom Hersteller nicht mehr produziert. Aus diesem Grund werden jetzt andere Körnungen verwendet.

Verschiedene MgO-Typen wurden untersucht. Es hat sich herausgestellt, dass auch mit einem feinen totgebrannten MgO eine Erhärtungsreaktion möglich ist.

Zudem wurde die Anmchlösung hinsichtlich Konzentration, Zusammensetzung und pH-Wert verändert. Man kann auch mit geringeren pH-Werten als pH 14 annähernd gleiche Festigkeiten erreichen.

Zudem wurde das Verhältnis von MgO zu Phosphat variiert, um das Optimum zu ermitteln.

Die kalorimetrischen Untersuchungen sind durchgeführt worden und müssen ausgewertet werden.

Eine Temperaturmessung einer vorläufigen Mörtelmischung im Inneren eines 10 cm hohen und breiten Zylinders bei Lagerung bei 20 °C zeigt, dass eine Erwärmung des Baustoffes von 40 °C nicht erreicht wird.

Zudem wurden weitere Zylinder für die Untersuchung des Baustoffes in der Triaxial- und Durchströmzelle hergestellt und an das Institut für Bergbau geliefert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Wiederholung des Langzeitversuches mit einer optimalen Rezeptur ohne Störung der Erhärtungsreaktion wird durchgeführt. Die Vor- und Nachteile der Veränderung der Lösungszusammensetzung müssen noch genauer untersucht werden. Die Raumauffüllung mit den verwendeten MgO-Typen soll so weit wie möglich optimiert werden. Hierzu wird eine Klassierung der verwendeten Typen in die verschiedenen Korngrößen durchgeführt. Die Untersuchung der Löslichkeit des Baustoffes wird untersucht.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		Förderkennzeichen: 02 C 1426
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 30.06.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 503.928,00 EUR	Projektleiter: Dr. Herbert	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es wird eine einheitliche, umfassende und konsistente thermodynamische Referenzdatenbasis zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozessen für die derzeit in Deutschland diskutierten oder bereits realisierten Wirtsformationen untertägiger Entsorgungseinrichtungen erstellt. Besonderer Wert wird auf eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit von Datenbankeinträgen gelegt. Es ist vorgesehen, den bereits in anderen Datenbasen vorhandenen Datenbestand zu integrieren. Eine Datenbank dient als zentrale, gemeinsame technisch-wissenschaftliche Basis, um schrittweise eine konsistenten Datenbasis für relevante thermodynamische Informationen für das System des ozeanischen Salz und für ausgesuchte toxische Elemente zu entwickeln. Gleichzeitig hilft sie bei der Identifikation von Wissenslücken und beim Entwurf von Strategien zu deren Schließung. Im weiteren Verlauf des Vorhabens werden Werkzeuge zur Verfügung gestellt, um automatisiert anwendungsspezifische Parameterdateien aus der Datenbank zu generieren. Es wird eine geeignete Strategie entwickelt, um die Rückverfolgbarkeit jedes Einzeldatums in diesen Parameterdateien bis zur Primärliteratur zu gewährleisten. Die Parameterdateien werden über das Internet der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Damit wird auch eine nützliche Informations-Rückkopplung an die Bereitsteller der Datenbank ermöglicht. Das Vorhaben THEREDA wird in enger Abstimmung mit den Vorhaben THEREDA-RN (BMWi) und THEREDA-SZ (BfS) durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Planung, Strukturierung und Aufbau einer Datenbank zur Aufnahme thermodynamischer Daten
- Entwicklung einer Nutzerschnittstelle zur qualitätsgesicherten Eingabe von Daten in die Datenbank
- Entwicklung, Ergänzung und Dokumentation konsistenter thermodynamischer Datenbasen für Zink, Chrom, Kobalt, Nickel, Kupfer, Arsen, Cadmium, Quecksilber, Blei und Eisen bei 25 °C
- Qualitätsmanagement: Entwicklung von Guidelines zur Bewertung thermodynamischer Daten und zur Aufstellung von Schätzwerten; Validierungen; Durchführung von Konsistenzprüfungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Projektmanagement: Im Berichtszeitraum erfolgte die Organisation und Durchführung zweier Projektbesprechungen. Koordination des Gesamtvorhabens.

Datenbank: entsprechend den Arbeitskreisbeschlüssen wurde die Struktur geändert.

Schnittstellen: für die vor allem in der laufenden Projektphase THEREDA-I erfolgende Eingabe sehr vieler Daten wurde eine Eingabeoberfläche auf Excel-Basis erstellt.

Qualitätsmanagement: die oben erwähnte Eingabeoberfläche auf Excel-Basis berechnet abhängige Daten bereits vor dem eigentlichen Import in die Datenbank und gewährleistet so eine rechnerische interne Konsistenz der Daten (diese Funktionalität deckt noch nicht das ganze Spektrum von Konsistenzprüfungen ab, ist aber ein wesentlicher Bestandteil).

Datenerfassung, Datenbewertung: im Berichtszeitraum keine Aktivität

Dokumentation: alle durchgeführten Änderungen an der Datenbankstruktur wurden in der bestehenden Dokumentation nachgepflegt, so dass diese auf dem aktuellen Stand ist.

4. Geplante Weiterarbeiten

Projektmanagement: gemeinsam mit PTKA-WTE Organisation eines THEREDA-Fachgespräches am 12.11.2008 in Karlsruhe; Organisation von Projektbesprechungen und Koordination des Gesamtvorhabens.

Datenbank: Implementierung eines Sicherungssystems, durch das geänderte oder gelöschte Datensätze in der Datenbank gespeichert werden.

Schnittstellen:

- Weiterentwicklung der Excel-Oberfläche
 - Eingabe von polythermen Bildungsdaten
 - Eingabe von wechselwirkungsbezogenen Daten (Standardbedingungen und polytherm)
- DELPHI-basierte Eingabeoberfläche
 - Anpassung an Änderungen in der Datenbank und Auslieferung zum Testen an alle Verbundprojektteilnehmer.

Datenerfassung: Cr, Co, Ni, Cu.

Dokumentation: Einpflegen aller Änderungen an der Datenbankstruktur in die bestehende Dokumentation.

5. Berichte, Veröffentlichungen

M. Altmaier, V. Brendler, S. Hagemann, H.-J. Herbert, B. Kienzler, C. M. Marquardt, H. C. Moog, V. Neck, A. Richter, W. Voigt, S. Wilhelm (2008): THEREDA – Ein Beitrag zur Langzeitsicherheit von Endlagern nuklearer und nichtnuklearer Abfälle, ATW – International Journal for Nuclear Power (53,4), 249 – 253.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 C 1436
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZD		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 30.06.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 109.732,00 EUR	Projektleiter: Dr. Brendler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Verbundprojektes mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln und der TU Bergakademie Freiberg ist die Erstellung einer einheitlichen, umfassenden und konsistenten thermodynamischen Referenzdatenbasis zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozessen für die derzeit in Deutschland diskutierten oder bereits realisierten Wirtsformationen untertägiger Entsorgungseinrichtungen. Hierzu bilden die beteiligten Projektpartner einen Kreis von Experten, der vorhandene thermodynamische Stoffgrößen sammelt, nach einheitlich vorher festgesetzten Kriterien bewertet und in einer Datenbank zusammenfasst. Besonderer Wert wird auf eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit von Datenbankeinträgen gelegt. Es ist vorgesehen, den bereits in anderen Datenbasen vorhandenen Datenbestand zu integrieren. Die Datenbank hilft bei der Identifikation von Wissenslücken und beim Entwurf von Strategien zu deren Schließung.

Im weiteren Verlauf des Vorhabens werden Werkzeuge zur Verfügung gestellt, um automatisiert anwendungsspezifische Parameterdateien aus der Datenbank zu generieren. Die Parameterdateien werden über das Internet der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Damit wird auch eine nützliche Informations-Rückkopplung an die Bereitsteller der Datenbank ermöglicht.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Projektmanagement
(Berichtswesen, Treffen mit Projektpartnern, Intranet)
- AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation
(Definition von Richtlinien, Testrechnungen mit vom DB-Generator entwickelten Parameterdateien, Konsistenzprüfungen, Nutzerhandbuch)
- AP3: Datenmanagement: Datenbank, Filter, Parameterdateien
(Erstellung und Weiterentwicklung der Datenbankstruktur, Sicherstellung eines Archivierungsmodus, Interface zur Datenrecherche und –verarbeitung)
- AP4: Datenbasis für Schwermetalle und Arsen
(Sammeln, Auswerten und Auswählen von Daten und Übertragung in ASCII-Dateien für späteres Einlesen in die Datenbank, FZD: stoffliche Schwerpunkte As und Fe^{III})

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1: Projektmanagement

- Projekttreffen in Dresden und Karlsruhe
- kontinuierliche Pflege und Aktualisierung der Intranetseiten unter www.thereda.de

AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation

- Aktivitäten wurden dem BMWi-Teilprojekt zugeordnet, siehe dort

AP3: Datenmanagement: Datenbank, Filter, Parameterdateien

- Iterative Verbesserung der Dateneingabetools (gemeinsam mit GRS)
- Entwurf eines generischen Datenformats basierend auf JSON. Einbindung von Datenbankabfragen mittels PHP in www.thereda.de

AP4: Datenbasis für Schwermetalle und Arsen

- Fortführung der Literaturrecherche

4. Geplante Weiterarbeiten

AP1:

- Pflege und Erweiterung der Intranetseite

AP2:

- Fertigstellung von Kapitel 1 und 5 des Handbuchs

AP3:

- Fertigstellung des Exportmoduls für das generisches Datenformat

AP4:

- Zusammenstellung der Daten zur Komplexchemie von Arsen

5. Berichte, Veröffentlichungen

Altmaier, M., Brendler, V., Hagemann, S., Herbert, H.-J., Kienzler, B., Marquardt, C.M., Moog, H.C., Neck, V., Richter, A., Voigt, W., Wilhelm, S. "THEREDA – Ein Beitrag zur Langzeitsicherheit von Endlagern nuklearer und nichtnuklearer Abfälle". *atw – Internationale Zeitschrift für Kernenergie*, **53**(2008), 249-253.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestr. 6, 09599 Freiberg		Förderkennzeichen: 02 C 1446
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben TU BAF		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2006 bis 30.06.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 99.646,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Voigt	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Verbundprojektes mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln und dem FZ Rossendorf ist die Entwicklung einer einheitlichen, umfassenden und konsistenten thermodynamischen Referenzdatenbasis zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozessen für die derzeit in Deutschland diskutierten oder bereits realisierten Wirtsformationen untertägiger Entsorgungseinrichtungen. Hierzu bilden die beteiligten Projektpartner einen Kreis von Experten, der vorhandene thermodynamische Stoffgrößen sammelt, nach einheitlich vorher festgesetzten Kriterien bewertet und in einer Datenbank zusammenfasst. Besonderer Wert wird auf eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit von Datenbankeinträgen gelegt. Es ist vorgesehen, den bereits in anderen Datenbanken vorhandenen Datenbestand zu integrieren. Die Datenbank hilft bei der Identifikation von Wissenslücken und beim Entwurf von Strategien zu deren Schließung.

Im weiteren Verlauf des Vorhabens werden Werkzeuge zur Verfügung gestellt, um automatisiert anwendungsspezifische Parameterdateien aus der Datenbank zu generieren. Die Parameterdateien werden über das Internet der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Damit wird auch eine nützliche Informations-Rückkopplung an die Bereitsteller der Datenbank ermöglicht.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Projektmanagement: Berichtswesen, Treffen mit Projektpartnern, Intranet
- AP2: Qualitätsmanagement und Dokumentation
(Definition von Richtlinien, Testrechnungen mit vom DB-Generator entwickelten Parameterdateien, Konsistenzprüfungen, Nutzerhandbuch)
- AP3: Datenmanagement: Datenbank, Filter, Parameterdateien
(Erstellung und Weiterentwicklung der Datenbankstruktur, Sicherstellung eines Archivierungsmodus, Interface zur Datenrecherche und -verarbeitung)
- AP4: Datenbasis für Schwermetalle und Arsen (FZ Dresden-Rossendorf, GRS Braunschweig)
- AP5: Datenbasis für das System der ozeanischen Salze (TU BAF)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1/AP2: Projektmanagement, Qualitätsmanagement

- Teilnahme am Projekttreffen FZ Dresden/Rosendorf am 5. - 6. Februar 2008
- Teilnahme am Projektstatusgespräch des Projektträgers am 6. Mai 2008 in Karlsruhe
- Teilnahme am Projekttreffen am INE (FZ Karlsruhe)
- Erstellung weiterer PDF-Files mit Ergebnissen für das Internet zur Dokumentation der Datenqualität für die Öffentlichkeit, erreichbar über www.thereda.de oder über <http://www.chemie.tu-freiberg.de/~voigt/thereda.html>.

AP5: Datenbasis für System der ozeanischen Salze

- Weiterführung Literaturlaufarbeitung zu neuen Daten des ozeanischen Systems
- Erstellung Pitzer-Parametersatz für das hexäre System abgeschlossen

4. Geplante Weiterarbeiten

AP2: Qualitätsmanagement

- Weitere Mitarbeit am Entwurf der verbindlichen Richtlinien zu: Datenbewertung und -klassifizierung, Nomenklatur von Reaktionen, Temperatur- und Druckfunktionen
- Konzeption zur Schaffung weiterer Möglichkeiten zur Darstellung der Beschreibungsgüte von Löslichkeiten und anderen Eigenschaften mit der Datenbasis für die Öffentlichkeit

AP3: Datenmanagement

- Erstellung eines Filters für die Anwendung der Datenbasis in CHEMSAGE/ ChemApp / FACTSAGE (2. Quartal 2008)

AP5: Datenbasis für System der ozeanischen Salze

- Es wurde mit der Einbeziehung der Säuren HCl, H₂SO₄ und Basen NaOH, KOH, Ca(OH)² und Mg(OH)² in den Pitzer-Parametersatz begonnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Teilnahme am "13. International Symposium on Solubility Phenomena" in Dublin mit Vortrag „The THEREDA Database for Modelling of Solubilities in the Hexary Oceanic Salt System Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ - H₂O" (Voigt, Wollmann, Moog, Hagemann)

Publikation zur Löslichkeit von Gips in konz. Lösungen erschienen (J. Chem. Eng. Data, 53(2008), 1375-80) (Wollmann, Voigt)

Publikation zur Charakterisierung schwermetallhaltiger Polyhalite erschienen (Monatsh. für Chemie, 139(2008), 739-745)

Zuwendungsempfänger: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 C 1456
Vorhabensbezeichnung: Bestimmung der Änderung des räumlichen und zeitlichen Ausbreitungsverhaltens von chemotoxischen Schwermetallen nach Wechselwirkung mit Natural Organic Matter (NOM) in geologischen Formationen von Untertagedeponien		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2006 bis 30.09.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 466.693,00 EUR	Projektleiter: Dr. Mansel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Hauptziele dieses Projektes sind eine Erweiterung und Absicherung der thermodynamischen Datenbasis sowie eine kinetische Beschreibung des Verteilungsverhaltens von chemotoxischen Schwermetallen, verursacht durch die Wechselwirkung mit dem Heteroatom Schwefel des NOM. Daher sind Untertagedeponie-relevante georadiochemische Untersuchungen, unter Nahfeldbedingungen im räumlichen und zeitlichen Ausbreitungsverhalten des ternären Systems: chemotoxische Schwermetalle / NOM / Geomatrix im Rahmen des Projektvorhabens durchzuführen. Diese sollen unter den naturnahen Bedingungen der potentiellen Wirtsgesteine realisiert werden. Mit Hilfe von ICP-OES, ICP-MS und CHNOS-Analytik wird das aus nativen Substanzen extrahierte NOM hinsichtlich seiner Haupt- und Nebenbestandteile charakterisiert. Mit Hilfe der Radiotracer-technik kann der sehr niedrige Konzentrationsbereich der Schwermetalle untersucht werden. Durch Radiomarkierung des NOM (^{14}C , $^{125/131}\text{I}$, ^{77}Br) einerseits und der Schwermetalle (^{59}Fe , ^{64}Cu , ^{65}Zn , $^{115\text{m}}\text{Cd}$, $^{203/212}\text{Pb}$, ^{203}Hg) andererseits werden Speziationsuntersuchungen in den drei binären Systemen (M+NOM, M+Geomaterial, NOM+Geomaterial) und dem ternären (M+NOM+Geomaterial) System unter naturnahen Bedingungen durchgeführt. Aus den natürlichen Lagerstätten bildenden Vorgängen soll ein Rückschluss auf das räumliche und zeitliche Rückhaltevermögen für toxische Schwermetalle im Wirtsgestein gezogen werden. Unter Verwendung von XANES und EXAFS sollen die Oxidationszustände des im NOM gebundenen Schwefels und Eisens bestimmt werden. Der Oxidationszustand des Schwefels hat einen wesentlichen Einfluss auf das Komplexierungsverhalten von NOM gegenüber Schwermetallen, bezogen auf die „starken Bindungsstellen“ des NOM. Das Redoxverhalten zwischen Eisen (II, III) und NOM hat einen wesentlichen Einfluss auf das Sorptions- und Migrationsverhalten des mit Schwermetallen beladenen NOM. Die erhaltenen Sorptions- und Komplexierungsdaten chemotoxischer Schwermetalle sollen in die Datenbank ISDA zur Modellerweiterung / Modellzusammenführung integriert werden. Für die Relevanz von Sicherheitsbewertungen sind diese Modelle hinsichtlich Thermodynamik und Kinetik zu aktualisieren bzw. zu erneuern.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Synthese und Reinigung von kommerziell nicht erhältlichen Radioisotopen für die Traceranalytik in geochemisch relevanten Flüssig/Fest-Phasensystemen
- Extraktion, Charakterisierung und Radiomarkierung von NOM

- Ad- / Desorptionsstudien von chemotoxischen Schwermetallen an verschiedenen Geomaterialien mittels Radioisotopen unter naturnahen Bedingungen
- Zeitabhängige Verteilungsmessungen (Ad- / Desorption) von chemotoxischen Schwermetallspezies des NOM an Geomaterialien (Granit, Sand, Kaolinit)
- Komplektierungsstudien von chemotoxischen Schwermetallen mit NOM unter Verwendung von Radioisotopen und unter naturnahen Bedingungen
- Speziation von chemotoxischen Schwermetallen im ternären System Schwermetall / NOM / Geomaterialien mit der Methode der radioaktiven Mehrfachmarkierung
- Speziation der Oxidationszustände des im NOM gebundenen Schwefels (XANES) und Bestimmung der Art der Bindung von chemotoxischen Schwermetallen; Speziation der Redoxzustände des im NOM gebundenen Eisens (II, III) (EXAFS)
- Abschließende Auswertung, Dokumentation und Schlussberichterstellung.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es wurden zeitabhängige Verteilungsmessungen im Batch-Experiment unter Verwendung von ^{59}Fe und ^{65}Zn in den binären Systemen Fe/Geomatrix, Zn/Geomatrix und den ternären Systemen Fe/Geomatrix/Fulvinsäure und Zn/Geomatrix/Huminsäure zur Beobachtung der Gleichgewichtseinstellung durchgeführt. Dabei konnte für das ternäre System [^{65}Zn]Zn $^{2+}$ /Granit/Huminsäure bei pH 6 im Vergleich mit dem huminsäurefreien System eine höhere Adsorption sowie eine schnellere Einstellung des Gleichgewichtes bestimmt werden. Bei Abwesenheit von Huminsäure adsorbiert Zn $^{2+}$ nach erster Reaktionsordnung, während bei Anwesenheit von Huminsäure die Adsorption nach zweiter Reaktionsordnung erfolgt. Die Adsorptionsisotherme für verschiedene Zn-Konzentrationen bei pH 6 verläuft mit $N = 0,908$ nach Freundlich fast linear. Im ternären System wird das Zn über die Huminsäure stärker an den Granit gebunden. Für die zeitabhängigen Verteilungsmessungen im ternären System [^{59}Fe]Fe $^{3+}$ /Fulvinsäure/Granit bei pH 2 wurde im Vergleich zum fulvinsäurefreien System kein Unterschied festgestellt. Dies betrifft sowohl die Adsorptionsparameter als auch die zeitliche Einstellung des Gleichgewichtes.

4. Geplante Weiterarbeiten

Für den Nachweis einer möglichen Nebenreaktion sind mittels Fe $^{3+/2+}$ -UV-VIS-Spektroskopie weitere kinetische Untersuchungen notwendig. Für die binären Systeme Fe/Fulvinsäure und Zn/Huminsäure sollen unter Verwendung von ^{59}Fe und ^{65}Zn zeitabhängige Verteilungsmessungen durchgeführt werden. Die Ad/Desorptionsstudien (Batchversuche) werden anschließend im binären System mit Fe an Geomaterialien und ternär mit Fe/Geomatrix/Fulvinsäure durchgeführt. Es sind pH-abhängige Säulenversuche an Granit mit ^{59}Fe in Ab- und Anwesenheit von Fulvinsäure geplant.

5. Berichte, Veröffentlichungen

A. Mansel, H. Kupsch: „Radiolabelling of Humic Substances with ^{14}C by Azocoupling [^{14}C] Phenyldiazonium Ions.“ Annual Report 2007, IIF, Leipzig, March 2008.

A. Mansel, F. Fellmer: „Verteilungsverhalten von divalenten toxischen Schwermetallen an Geomatrices bei Ab- und Anwesenheit von Huminsäure.“ Actinidenverbund: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer, München, 01.-02.04.2008.

Zuwendungsempfänger: Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Konrad-Wachsmann-Allee 1, 03046 Cottbus		Förderkennzeichen: 02 C 1466
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 1 (BTU): Hydrogeologie und Geochemie des Gesamtsystems		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.217.647,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Voigt	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des TV1 ist die Erkundung der Lösungsdynamik im und am Salzsattel durch eine kombinierte geohydraulische und geochemische Analyse des Gesamtsystems und seiner Teilsysteme (unverfestigtes und verfestigtes Deckgebirge, Salinargebirge, Grubenbaue) unter Nutzung moderner Untersuchungs- und Modellierungswerkzeuge. Das TV1 wird in enger Zusammenarbeit mit den anderen Teilvorhaben des Verbundes durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Geohydraulische Analyse und Entwicklung eines hydrogeologischen Modells

AP1.1: Erkundung durch Flachbohrungen

AP1.1.1: Konzeption der Bohrungen

AP1.1.2: Ausschreibung und Vergabeverfahren der Bohrungen

AP1.1.3: Kontrolle der Bohrarbeiten und begleitende Tests

AP1.1.4: Auswertung der Bohrerkundung

AP1.2: Monitoring und Spezialuntersuchungen zur Analyse von Strömungsvorgängen und Austauschprozessen

AP1.2.1: Konzeption, Erweiterung und Auswertung des Monitoring zur GW-Beschaffenheit und GW-Dynamik

AP1.2.2: Orts- und zeitaufgelöstes Monitoring der Grundwasserdynamik im Deckgebirge durch Sohldruckmessungen

AP1.3: Überführung des geologischen Modells und des Hohlraummodells in ein hydrogeologisches Strukturmodell

AP2: Geochemische Analyse und Modellierung der Lösungsvorgänge

AP2.1: Typisierung und Charakterisierung der Lösungen anhand ihrer hydrochemischen Beschaffenheit und ihres Lösungspotentials

AP2.2: Geochemische Modellierung der Lösungsvorgänge ausgewählter Szenarien/Reaktionssysteme

AP2.3: Räumliche Analyse der lösungsanfälligen Bereiche im hydrogeologischen Modell

AP3: Zusammenfassende Bewertung der Dynamik und Austauschprozesse im Gesamtsystem unter Berücksichtigung geochemischer und hydraulischer Modellierung

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Beendigung und Dokumentation der Bohr- und Testarbeiten und Erstellung des Vergabevermerks als Abschluss des Vergabeverfahrens
- Kontrolle und Auswertung der gewonnenen geologischen, geophysikalischen und hydrogeologischen Informationen aus dem Bohrprogramm und Übergabe an die Projektpartner
- Fertigstellung der hydrogeologischen Messnetze Lockergestein, Deckgebirge, Salinargebirge/Grubenbaue
- Beginn des systematischen hydraulischen Monitorings in Zusammenarbeit mit BGR und IHU GmbH, Instrumentierung von ca. 20 ausgewählten Messstellen im Deckgebirge und Salinargebirge mit Datenloggern zu kontinuierlicher Erfassung von hydraulischen und hydrochemischen Parametern
- Sondierungen in Messstellen und zugänglichen Schächte zur Erfassung der teufenorientierte Druck-, Temperatur und Leitfähigkeitsverteilung
- Durchführung des hydrochemischen Frühjahrsmonitoring März/April unter Beteiligung der IHU und der GGA, Einsatz des Pumpenequipment der BTU
- Start des Oberflächenwassermessprogramm (Wasserstand, Abfluss, Beschaffenheit)
- Aufbau einer an die Anforderungen des Vorhabens angepassten Projekt-Datenbank mit GIS Anbindung, zur Zusammenführung der hydrogeologisch relevanten Daten
- Beginn der geologisch-hydrogeologischen Auswertung und Interpretation
- Plausibilitätsprüfung der erhobenen hydrochemischen Daten, Auswertung der hydrochemischen Beschaffenheitsdaten, erste hydrogeochemische Modellierungen zu Sättigungsverhältnissen und Reaktionen
- Erarbeitung 2-dimensionaler hydrogeologischer Modelle in Zusammenarbeit mit WASY GmbH
- Prozessierung der LIDAR-Daten und Erarbeitung hochaufgelösten Geländemodells (DGM1), Bereitstellung für die Projektpartner
- Präsentation des Projektes und Vorstellung erster Ergebnisse auf der Tagung der FH-DGG in Göttingen 05/2008

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung der Monitoringprogramme, Stichtagsmessung im Gesamtmessnetz zur Erfassung der hydrogeologischen Situation im Sommerhalbjahr
- Hydrochemische Herbstbeprobung
- Analyse der hydraulischen Verhältnisse und Erarbeitung des hydrogeologischen Modells in 3D aus dem geologischen Modells der BGR
- Hydrogeochemische Modellierung verschiedener Reaktionssysteme

5. Berichte, Veröffentlichungen

A. Bohn, H.-J. Diersch, F. Herrmann, C. Jahnke, J. Luo, H.-J. Voigt & N. Walter (2008): Analyse und Modellierung hydrogeologischer Prozesse und deren Beziehungen zu den Bergbaufolgeschäden im Bereich des ehemaligen Kalibergbaus der Stadt Staßfurt. – Grundwasserressourcen - Charakterisierung, Bewirtschaftung, Prognosen, Tagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGG (FH-DGG), 21. - 25. Mai 2008, Göttingen, M. Sauter, Th. Ptak, R. Kaufmann-Knoke, M. Lodemann & A. van den Kerckhoff (Hg.), Dt. Ges. für Geowiss., 2008, Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften e.V., H. 57, 200 S.; Hannover.

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover		Förderkennzeichen: 02 C 1476
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 2 (BGR): Geophysikalische Untersuchungen, Seismische Erkundung, Geologisches 3D-Modell, Bohrungen, Server-Datenbank, Koordination des Gesamtvorhabens		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 2.028.893,00 EUR	Projektleiter: Gerardi	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Teilvorhaben (TV) 2 wird ein digitales Höhenmodell und ein geologisches 3-D Modell der Salzstruktur und des Deckgebirges zusammen mit den tektonischen Strukturen und den Grubenhöhlräumen für Staßfurt erstellt. Ungeklärte geologische und hydrogeologische Sachverhalte werden durch Bohrungen untersucht. Die Ergebnisse werden mit einer Datenbank verfügbar gemacht.

Mittels airborne Laserscanner- und magnetischen Messungen werden tektonische Strukturen des Arbeitsgebietes abgebildet. Die Bodengeophysik präzisiert die gefundenen Strukturen. An Messstellen in Flachbohrungen erfolgen Langzeitgrundwasserüberwachungen. Die gewonnenen Daten dienen der hydraulischen Modellierung im TV1. Durch das seismologische Langzeit-Monitoring sollen Bruchereignisse identifiziert und geortet werden, um so das Hohlraummodell und die Standsicherheitsprognose (TV3) verifizieren zu können.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das TV2 umfasst folgende Arbeitspakete:

Geophysik (AP1) Laser Scanning/Multispektralaufnahmen: Digitales 3D- Höhenmodell zur Abbildung der Morphologie, geologisch-tektonischer Gegebenheiten und Messung von Höhenänderungen

Geophysik (AP2) Hubschraubergeophysik: Zur geophysikalischen Vermessung großer Flächen mittels Elektromagnetik, Magnetik und Radiometrie.

Geophysik (AP3) Hochauflösende Bodengeophysik: Follow-up der Laserscannermessungen /Multispektralaufnahmen und der Hubschraubergeophysik zur Messung von Lösungsaufstiegsbahnen.

Geophysik (AP4) Hohlschneckenbohrungen mit dem BGR-Bohrgerät: Erstellen von Flachbohrungen bis ca. 60 m Teufe und Ausbau zu Grundwassermessstellen.

Geophysik (AP5) Grundwasser Langzeit-Monitoring in Flachbohrungen: Bestimmung der Salzfracht der Wässer auf Störungszonen (Anomalien durch hochsaline Wässer, Frischwasser).

Geophysik (AP6) Temperaturmessungen in Bohrungen: Messung der Temperaturverteilung.

Geophysik (AP7): Seismologisches Monitoring: Betrieb neuer Seismometerstationen im vorhandenen Messnetz zur Lokalisierung seismischer Ereignisse und Bestimmung dynamischer Parameter.

Geologische 3D- und Hohlraummodellierung: Erstellung eines geologischen 3D-Modells und eines 3D-Hohlraummodells.

Datenbank und Koordination des Gesamtprojekts: Erstellung einer Server-Datenbank als Fachinformationssystem für das Projekt, bildliche (Scanner) und textliche Bohrkerndokumentation. Koordination des Forschungsverbundvorhabens.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP Aerogeophysik: Nach Abschluss der Auswertung der Hubschrauberelektromagnetik begann die vollständige HEM-Inversion der prozessierten Daten und die Erstellung von Karten und Vertikalschnitten. Die Messtiefe liegt im Mittel zwischen 20 m (Salzwasser) und 150 m (Muschelkalk).

AP Bodengeophysik / Grundwasser Monitoring: Durchführung von 6 Bohrungen in Staßfurt, auf Friedrichshall und in der Hecklinger Salzwiese, 1 Bohrung wurde als Grundwassermessstelle ausgebaut. Bodengeophysikalische Messungen wurden über Senkungszonen und Salzwasseraufstiegszonen und Tiefenprofilierungen (Temperatur, Druck, Leitfähigkeit) in Bohrungen durchgeführt.

AP Laserscanbefliegung: Kein neuer Sachstand.

AP Seismisches Monitoring: 5 Seismometerstationen (STF1 - STF5) wurden kontinuierlich mit einer Datenverfügbarkeit von 98.6 % betrieben. Die regelmäßig ausgelesenen und ausgewerteten Daten lassen bisher keine seismischen Ereignisse im Untersuchungsgebiet erkennen, die auf senkungsbedingte Bruchvorgänge hinweisen.

AP Geologische 3D- und Hohlraummodellierung: Die Modellierung der Gruben Berlepsch-Maybach, v. d. Heydt - von Manteuffel und Leopoldshall ist vorläufig abgeschlossen. Es folgt die Bearbeitung der Gruben Neu-Staßfurt und Ludwig. Aus dem geologischen Modell wurden erste Schnitte an die TV1 und TV6 übergeben. Mineralogisch-geochemische Spezialuntersuchungen an den Bohrkernen B, G1 und G4 wurden fortgesetzt.

AP Server-Datenbank und Koordination des Gesamtprojekts: Die Projektdatenbank wurde aufgebaut und für den Internetzugang vorbereitet. Die Projektierung von 3 Tiefbohrungen ist erfolgt. Von diesen wurde zunächst 1 ausgeschrieben. Im Rahmen der Koordination wurde das Projekt dem Beirat und in Seminaren (FZK, BfS, BGR/GGA/LBEG) der Fachöffentlichkeit vorgestellt. Zur Standortbestimmung des Projektes wurde mit den Projektpartnern ein Workshop durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP Aerogeophysik: Optimierung der HEM-Inversionen, Auswertung der Aerogeophysik (Magnetik und Radiometrie), Abgleich der Aero- und Bodengeophysikalischen Messungen, Interpretationen, Folgearbeiten u. a. Bohrprogramm (Bohrgerät Geozentrum Hannover).

AP Bodengeophysik/Grundwassermonitoring und AP Laserscanbefliegung: Erstellen von 5 Bohrungen zur Klärung von Anomalien und weitere Bodengeophysikalische Messungen im Umfeld der Senkungen, Identifizierung von Störungen im Arbeitsgebiet.

AP Seismisches Monitoring: Kontinuierlicher Betrieb der Messstationen und Datenanalyse zur Überwachung der seismischen Aktivität im Hauptsenkungsgebiet in Staßfurt. Nanoseismisches Monitoring wird in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart durchgeführt.

AP Geologische 3D- und Hohlraummodellierung: Die 3D-Hohlraummodelle für die Gruben im Arbeitsgebiet werden fertiggestellt. Aus dem Risswerk verfügbare geologische Daten, werden zusammen mit überarbeiteten Bohrbefunden und seismischen bzw. bodengeophysikalischen Messungen in geologische 3D-Modelle für repräsentative Teilbereiche der Sattelstruktur eingearbeitet.

AP Server-Datenbank, Tiefbohrung und Koordination des Gesamtprojekts: Die Bohrungsdaten werden für die Aufnahme in die DB aufbereitet und graphisch verfügbar gemacht (dynamische Karte). Die geplanten Bohrungen in Staßfurt werden ab Ende 08/2008 abgeteuft.

5. Berichte, Veröffentlichungen

BREITFELDER, G.; DRESBACH, C.; BEHLAUI, J.; HAMMER, J. MINGERZAHN, G. (2008): Methodik und erste Ergebnisse der 3D-Modellierung der Geologie und der Grubengebäude im Bereich des Staßfurter Sattels. - Vortrag, Geozentrum Hannover.

GERARDI, J. (2008 a, b): Das Forschungsverbundvorhaben „Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes“ – Ein Überblick. - Vorträge, (a) Statusseminar Karlsruhe und (b) BfS Salzgitter-Lebenstedt.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Str. 2 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 1486
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 3 (TUC): Geomechanische Modellierung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 327.815,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Entwicklung von Modellierungsansätzen für die numerische Simulation bruchhafter Deformationen und der ablaufenden geomechanischen Prozesse zur Prognose der Oberflächenentwicklung über abgesoffenen oder gefluteten Salzbergwerken.

- Entwicklung eines Instrumentariums, mit dem die Ursachen für die Entstehung von Tagesbrüchen quantifiziert und prognostiziert werden können. Anhand von Laboruntersuchungen soll eine Einschätzung des mechanischen Materialverhaltens der in situ anstehenden Gesteine unter besonderer Berücksichtigung der für die Initialisierung rupturer Deformationsprozesse mit der potentiellen Folge von Tagesbrüchen ursächlichen Mechanismen erfolgen.
- Entwicklung von Modellierungsansätzen für die numerische Simulation bruchhafter Deformationen.
- Differenzierte rechnerische Simulation der ablaufenden geomechanischen Prozesse und exemplarische Prognose des Gebirgsverhaltens bei gekoppelter Berechnung bruchhafter und bruchfreier Deformationen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Literaturrecherche zu Tagesbruchmechanismen (Fallbeispiele / Modellierungsansätze).
- AP2: Herstellung von Lagerungsbehältern für Kernmaterial Salztun / Kalisalz.
- AP3: Felsmechanische Laborversuche / Ableitung von Grenzwerten und Randbedingungen für die Initialisierung bruchhafter Deformationen.
- AP4: Entwicklung von Modellierungsansätzen für die numerische Simulation bruchhafter Deformationen und Implementierung in FDM/FEM Software.
- AP5: Exemplarische Prognose des Gebirgstragverhaltens bei gekoppelter Berechnung bruchhafter und bruchfreier Deformationen.
- AP6: Analyse der Berechnungsergebnisse hinsichtlich der Möglichkeit zur Ableitung eines Bewertungsschemas für die Einschätzung der Tagesbruchwahrscheinlichkeit (beschränkt auf ja/nein, nicht aber wann) am Beispiel der Stadt Staßfurt in Verbindung mit den bergbaulich und hydrogeologisch orientierten Teilvorhaben.
- AP7: Schlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Rahmen von AP3 wurden im abgelaufenen Berichtszeitraum Kurzzeitlaborversuche und Langzeitlaborversuche (Kriechversuche) durchgeführt.

Es wurden 30 festigkeitsmechanische Laborversuche an Prüfkörpermaterial des A3 mit Bestimmung von Bruch-, Dilatanz- und Restfestigkeit, Bruchstauchung sowie der mechanischen Verformungsmoduli im Vor- und Nachbruchbereich durchgeführt. Neben den mechanischen Kennwerten standardmäßig erfasst wurden die Gesteinsdichte, der Wassergehalt sowie der dynamische E-Modul und die dynamische Poissonzahl der Prüfkörper.

Außerdem wurden 8 festigkeitsmechanische Laborversuche an Prüfkörpermaterial des NaCl-Versatzes (Versuche Nr.57 bis Nr. 65), 11 festigkeitsmechanische Laborversuche an Prüfkörpermaterial des K2L (Liegendgruppe Kaliflöz) (Versuche Nr.83 bis Nr. 96) und 4 festigkeitsmechanische Laborversuche an Prüfkörpermaterial des Steinsalzes Na2R (Versuche Nr.72 bis Nr. 76) durchgeführt.

Kriechversuche wurden an folgenden Gesteinsarten der Bohrung B durchgeführt: Steinsalz Na2R, Liegendgruppe Kaliflöz K2L, NaCl-Versatz, Roter Salzton T4.

Im Rahmen von AP4 wurde die bei der Auswertung der Laboruntersuchungen ermittelte Abhängigkeit der Bruchfestigkeit von der Minimalspannung $\sigma_v = 14,769 \ln(\sigma_3) + 71,183$ für das Anhydrit als erster Ansatz der Bruchbedingung für die Simulationsberechnungen gewählt.

Für die in AP5 durchzuführende Prognose des Gebirgstragverhaltens wurde für das Profil VI ein 3D-FDM Berechnungsmodell diskretisiert. Das Modell bildet mit 9593 Zonen und 19252 Knotenpunkten einen Gebirgsausschnitt von 520 m Breite und 410 m Tiefe im Bereich des Strandbades ab. Es beinhaltet 5 Hohlräume und 13 Homogenbereiche.

Im Rahmen von AP5 wurden die ersten Testberechnungen an dem Modell im Profil C-C (aus dem früheren Projekt 2000) mit den neuen aus den Laboruntersuchungen ermittelten Stoffmodellparametern für das Anhydrit durchgeführt. Die Berechnungsergebnisse haben gezeigt, dass die für das Gestein ermittelten Parameter zu hoch angesetzt sind und abgemindert werden müssen, um das Verhalten vom Gebirge abbilden zu können.

4. Geplante Weiterarbeiten

Labor:

- Weitere Laborversuche zum Spannungs-Verformungs-Verhalten der anstehenden Gesteine
- Auswertung der Laborversuche, Ermittlung der Materialparameter
- Ableitung von Grenzwerten für die Initialisierung bruchhafter Deformationen
- Simulationen:
 - Verifikationsberechnungen Berechnungsmodell Profil C-C
 - Generierung Berechnungsmodell Profil VI (Strandbad) mit neuen Erkenntnissen
 - Verifikationsberechnungen Berechnungsmodell Profil VI
 - Generierung Berechnungsmodell Profil I (Mühlengraben)

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: K-UTEC AG Salt Technologies, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen		Förderkennzeichen: 02 C 1496
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 4 (K-UTEC): Grundlagen für Geomodellierung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 643.387,00 EUR	Projektleiter: Bode	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Teilvorhaben 4 sind aktuelle geologisch – geotechnische Daten für den Referenzstandort Staßfurt zu ermitteln, zurückliegende Bergschadensentwicklungen zu rekonstruieren und induktiv Aussagen abzuleiten, die als Basisdaten für die vorgesehenen Modellerstellungen dienen. Die Bearbeitung und Ergebnisdarstellung der einzelnen Arbeitspakete sind mit den Teilvorhaben

- TV1 (BTU): Beitrag zur geochemischen Modellierung
- TV2 (BRG): Beitrag zur geologischen Modellierung bzw. Hohlraummodellierung
- TV3 (TUC): Beitrag zur geomechanischen Modellierung, Gefährdungsanalyse
- TV5 (IHU): Beitrag zur geologischen Modellierung
- TV6 (WASY): Beitrag zur geohydraulischen, hydrogeologischen Strukturmodellierung zu koordinieren.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Beistellung geologischer Informationen zur Salzstruktur einschließlich Rechercharbeiten
- AP2: Ableitung digitales Geländemodell aus Laserscan 1. Befliegung (Planung, Auswertung)
- AP3: Ableitung digitales Geländemodell aus Laserscan 2. Befliegung (Planung, Auswertung)
- AP4: Planungs- und Forschungsleistungen für Tiefbohrung des LAGB; Erweiterung Datenbasis für Geomodellierung
- AP5: Ingenieurtechnische Koordinierung und geowissenschaftliche Bearbeitung der im Verbundprojekt geplanten Tiefbohrungen
- AP6: Aufbau eines 3D-Hohlraummodells mit Darstellung der Hohlraumentwicklung
- AP7: Untersuchungen zur Lösekinetik an Salinargesteinen
- AP8: Zusammenstellung mechanischer Eigenschaften des deformierten und gefluteten Gebirges
- AP9: Ausweisung der durch Bruchvorgänge vorgeschädigten Gebirgsbereiche
- AP10: Darstellung von Ergebnissen des seismischen Monitorings mit der lokalen seismischen Station Staßfurt

- AP11: Untersuchungen zur Einschätzung der Tagesbruchwahrscheinlichkeit
 AP12: Validierung der geomechanischen Berechnungsergebnisse zu OT-Deformation anhand der in-situ durchgeführten Senkungsbeobachtungen

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Vorbereitung der Datensätze für die Berechnung des Höhendifferenzmodells aus den Laserscan-Befliegungen 1997, 2000, 2001 und 2007 an ausgewählten Flächen im Untersuchungsgebiet (Westeregeln Tagesbruchgebiet, Douglashall I / II, Neustaßfurt VI / VII, Flutungs- und Tagesbruchgebiet, Senkungsraum Lehrter Str. / Tankstelle, Senkungsraum Bernburger Str. / Gollnowstr., Strandbad Staßfurt, Friedrichshall I / II Tagesbruchgebiet)
- AP4: Erstellung der technischen und wissenschaftlichen Abschlussdokumentation zu den Erkundungsbohrungen B, G1 und G4 mit Interpretation des Bohrerergebnisses und der wissenschaftlichen Aufbereitung des messtechnischen Begleitprogramms.
- AP5: Mitwirkung bei der Präzisierung und Festlegung von zunächst 3 Bohransatzpunkten für die weiterführende Tiefbohrerkundung im Untersuchungsgebiet an der SW-Flanke des Staßfurter Sattels. Erarbeitung des fachlichen Teils der Ausschreibungsunterlagen mit Beschreibung der Bohrsituation und des Leistungsverzeichnisses. Die Ausschreibung wurde zunächst auf eine Bohrung beschränkt.
- AP6: Beistellung von historischen Unterlagen und Daten für Arbeiten der Projektpartner zur geologischen-gebirgsmechanischen und Hohlraummodellierung.
- AP7: Bearbeitung der spezifischen lösungskinetischen Modelle zur Abschätzung der Massentransportverhältnisse in den Grubenräumen der Kalibergwerke Leopoldshall I / II und v. d. Heydt / v. Manteuffel / Achenbach.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Darstellung und Interpretation von Höhendifferenzmodellen an Hand der Laserbefliegungsdaten von 1997, 2000, 2001 und 2007 für ausgewählte Flächen im Untersuchungsgebiet.
- AP5: Mitwirkung bei der Auswertung des Ausschreibungsverfahrens und der Koordination und Betreuung der Bohrarbeiten sowie der BLM- und Testarbeiten. Aufbereitung und Zusammenstellung der Erkundungsergebnisse.
- AP6: Fortführung der Arbeiten für die Ableitung und Erstellung der Grundlagen für das aktualisierte Hohlraummodell an Hand von lösungskinetischen Untersuchungen und der Auswertung der Senkungsentwicklung im Untersuchungsraum.
 Fortführung und Abschluss der Arbeiten zu einer synoptischen Darstellung der bergbaulichen und bergschadensbezogenen Vorgänge im Bereich der Gruben des Untersuchungsgebietes.
- AP7: Lösekinetische Untersuchungen unter Berücksichtigung der Erkundungsergebnisse an den Bohrungen B, G1 und G4.
- AP9: Darstellung und Klassifizierung der geologisch-tektonischen Störungselemente und der bergbauinduzierten Bruchvorgänge im Bereich des Bergschadensgebietes.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Erstellung von Erkundungs- und Forschungsbohrungen im Bereich Kali- und Steinsalzbergbau in Staßfurt; Bohrerkundung / Risikobewertung, Bergschadensraum Staßfurt 2005 – 2008
 Bericht K-UTECH AG / IHU GmbH, Mai 2008

Zuwendungsempfänger: IHU Geologie und Analytik Gesellschaft für Ingenieur- Hydro- und Umweltgeologie mbH, Dr.-Kurt-Schumacher-Str. 23, 39576 Stendal		Förderkennzeichen: 02 C 1506
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 5 (IHU): Erfassung, Bewertung und Darstellung der Strukturgeologie und Hydrochemie		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 397.238,00 EUR	Projektleiter: Dr. Stahl	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des geplanten Vorhabens ist die Entwicklung eines interdisziplinären Prognosemodells für urbane Räume über abgesoffenen oder gefluteten Salzbergwerken mit bergschadensbedingten Veränderungen im Deckgebirgsstockwerk als Grundlage für ein ökologisch begründetes nachhaltiges Gestaltungs- und Flächennutzungskonzept. Diese methodischen Forschungsarbeiten mit überregionalem Anwendungsbezug sollen exemplarisch am Standort Staßfurt bearbeitet werden.

Die Aufgabenschwerpunkte des Teilvorhabens TV5 liegen in der Erfassung, Bewertung und Darstellung der Struktur- und Hydrogeologie. Dazu werden die vorhandenen Altdaten aufbereitet und mit den im Verbundvorhaben neu gewonnenen Informationen z. B. aus Bohrungen, gebirgsmechanischen Untersuchungen, geophysikalischen Messungen oder hydrochemischen Analysen zusammengeführt. Diese Daten werden in einem dreidimensionalen strukturgeologischen Modell zusammengefasst und für in die geohydraulischen Modellierung der Dynamik des Untersuchungsgebiet überführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Teilvorhaben 5 - Erfassung, Bewertung und Darstellung der Strukturgeologie und Hydrochemie gliedert sich in die folgenden Arbeitspakete:

- AP1: Geologisches Modell
- AP2: Erweiterung der Datenbasis durch Bohrungen und geophysikalische Messungen
- AP3: Hydrogeologische Analyse von Strömungsvorgängen und Austauschprozessen
- AP4: Erstellen der Abschlussdokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Schwerpunkte der bisherigen Arbeiten lagen in den Arbeitspaketen 1, 2 und 3. Mit Projektbeginn wurden die vorliegenden geologischen und hydrogeologischen Altdaten zusammengestellt, geprüft und aufbereitet, um sie dann den Projektpartnern zur Verfügung zu stellen. Der Datenbestand wurde und wird durch Recherchen laufend ergänzt und erweitert.

Innerhalb der Bearbeitung des AP3 wurde das Monitoringprogramm der Flachpegel mit den Projektpartnern abgestimmt. Im März 2008 erfolgte die dritte Monitoringkampagne von ausgewählten Altmessstellen im Untersuchungsgebiet. Es wurden 15 Grundwassermessstellen beprobt und jeweils bezüglich 17 verschiedener chemisch-analytischer Parameter untersucht. Zusätzlich wurde Probenmaterial für Untersuchungen bei Projektpartnern gewonnen.

Zur Standortauswahl und Prioritätenabstimmung der Tiefbohrungen des Verbundvorhabens erfolgten mehrere Konsultationen mit den Projektpartnern. Es erfolgte eine Mitwirkung bei der Erarbeitung der Ausschreibungsunterlagen der Tiefbohrungen durch die BRG und die K-UTEC.

Im Juni 2008 erfolgte ein Workshop des Verbundvorhabens mit dem Ziel eines intensivierten Informationsaustausches und der Darstellung der Einordnung in das Förderprogramm FONA „Forschen für Nachhaltigkeit“. Es wurde eingeschätzt, die folgenden Fragestellungen für ein nachhaltiges Management urbaner Räume in Bergschadensgebieten wichtig sind:

- Präzisierung der Aussagen über Flächen latenter Bruchgefahr und Bewertung der gebirgsmechanischen Standsicherheit,
- Prognosen von Setzungen und der daraus folgenden Vernässung urbaner Flächen und
- Optimierung der Wasserhaltungen unter Berücksichtigung der tieferen Grundwasserleiter.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten im Teilvorhaben werden wie geplant fortgeführt.

Die Schwerpunkte sind, wie im zurückliegenden Berichtszeitraum, die Arbeitspakete 1, 2 und 3: „Zuarbeit und Mitwirkung bei der Erstellung und Verifikation des geologischen 3D-Modells“, „Erweiterung der Datenbasis durch Bohrungen und geophysikalische Messungen“ sowie „Hydrogeologische Analyse von Strömungsvorgängen und Austauschprozessen“.

Die gewonnenen Daten der Geologie, Hydrogeologie und Hydrochemie werden erfasst, geprüft, aufbereitet und den Partner zur Verfügung gestellt.

Ab September 2008 wird die geologische Fachbegleitung der Tiefbohrungen beginnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: DHI-WASY GmbH, Waltersdorfer Str. 105, 12526 Berlin		Förderkennzeichen: 02 C 1516
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 6 (WASY): Strömungs- und Transportmodellierung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 220.307,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Diersch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Forschungsvorhaben zielt auf die Modellierung der Strömungs- und Salzwassertransportprozesse orientiert in einer mehrstufigen Vorgehensweise auf den Aufbau eines regionalen dreidimensionalen Strömungs- und Salzwassertransportmodells mit notwendiger Detailliertheit zur Simulation entsprechender Prozesse in aufgelassenen Salzbergwerken und ihrer Deckgebirge. Die Arbeitsziele bei der Strömungs- und Stofftransportsimulation sind (1) die Modellierung der dichtegekoppelten Strömungs- und Salzwassertransportprozesse in repräsentativen Strukturen (Ursache-Wirkungs-Studium) und im Gesamtsystem (Quali- und Quantifizierung des Salzaustrages und -migration) des Untergrundes im Untersuchungsgebiet der Stadt Staßfurt, (2) eine begleitende Modellunterstützung von Erkundungsmaßnahmen (Standortauswahl, physikalisch basierte Interpretation und Validierung von Beobachtungen und Messungen) und (3) die Durchführung von Szenarienanalysen zur Abschätzung und Prognose der Entwicklung der Auslaugungsprozesse.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

TA1: Prinzipstudien zu Strömungs- und Transportprozessen an Profilschnitten

- Analyse des geologischen und hydrogeologischen Datenbestandes
- Einbau von Wechselwirkungsprozesse zwischen Salinar und zirkulierenden Lösungen in das Simulationssystem FEFLOW
- Feststellung der Sensitivität der Parameter und Randbedingungen, die für die standortspezifische Modellierung von Bedeutung sind
- Erarbeitung eines besseres Verständnisses der Strömungsphänomene und Wechselwirkungsprozesse im Untergrund des Standortes Staßfurt

TA2: Aufbau von Finite-Element-Modellen für 2D- und 3D-Schematisierungen

- Untersuchung der numerischen Anforderungen betreffs Genauigkeit, Robustheit und Stabilität
- Entwicklung und Erprobung von Vernetzungen mit unterschiedlicher Feinheit und Detailliertheit
- Festlegung und Begründung geeigneter Modellgebietsgrenzen und Randbedingungen

TA3: Simulationen von Strömungs- und Transportprozessen an ausgewählten Modellszenarien

- Herausarbeiten der prinzipiellen Mechanismen und Abhängigkeiten, die für die Strömungszirkulation und Laugungsprozesse maßgeblich sind
- Entwicklung eines 3D-Modells, in dem die Erfahrungen und Kenntnisse aus den vorangegangenen Prinzipuntersuchungen Berücksichtigung finden

TA4: Vergleich von Modellierungsergebnissen mit In-situ-Befunden

- Überprüfung der hydrogeologischen, hydrodynamischen und hydrochemischen Modellvorstellungen anhand der numerischen Modellierung und der Feldversuche
- Vergleich der Hypothesen für die maßgebenden hydraulischen und geochemischen Abhängigkeiten für den Standort mit In-situ-Befunden
- Prognose der Strömungs- und Salzwassertransportprozesse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In Fortführung der im 2. Hj. 2007 begonnenen Arbeiten lagen die im 1. Hj. 2008 durchgeführten Untersuchungen auf folgenden Schwerpunkten:

(1) In Zusammenarbeit mit der BTU Cottbus Erweiterung der hydrogeologischen Datenbasis für Prinzipmodellierungen, Festlegung weiterer repräsentativer hydrogeologischer Schnitte, Festlegung der Modellausdehnung für das geplante 3D-Modell.

(2) Durchführung weiterer Modellrechnungen an dem vorliegenden Profilschnitt, Untersuchung von Randbedingungsszenarien, Modellierung der Konzentrationsverteilung bei Annahme zweier verschiedener Salzspezies (vereinfacht angenommen NaCl und MgCl_2) und Modellauswertungen.

(3) Datenakquise, insbesondere Analyse der Salzfracht in den Vorflutern zu Kalibrierungszwecken.

Auch im 1. Hj. 2008 waren die geplanten Modelluntersuchungen beeinflusst von der verzögerten und eingeschränkten Bereitstellung notwendiger Daten aus den laufenden Erkundungen und insbesondere aus der Strukturmodellierung.

(1) Im Winter 2007/2008 wurden verschiedenen Szenarien, basierend auf einem 2D Vertikal-Modell entsprechend eines von KTU GmbH erstellten geologischen Schnittes berechnet. Anschließend wurden ausgewählte Parametervariationen untersucht, um die Modellsensitivität abschätzen zu können. Ein Schwerpunkt dabei galt dem Einfluss der Durchlässigkeiten der Rogensteinhorizonte. Zusammen mit der BTU Cottbus wurde die Konzeption für den Aufbau des Hydrogeologischen Modells weiterentwickelt. Dieses bildet den Ausgangspunkt für ein numerisches 3D-Modell. Es wurde die Ausdehnung des aufzubauenden 3D-Modells entsprechend der vermuteten hydrogeologisch wirksamen Begrenzungen festgelegt. Hieraus ergibt sich ein geringfügig größeres Modellgebiet als ursprünglich angesetzt. Als nächste Schritte wurde die Berechnung weiterer vertikaler 2D-Schnitte geplant. Die vorgesehenen Schnittkoordinaten sind in Abstimmung mit der BTU Cottbus und der BGR (Gruppe Dr. Hammer) festgelegt worden. Bisher konnten uns allerdings die notwendigen Daten aus dem *Open-geo*-System noch nicht zur Verfügung gestellt werden. Daneben wurde mit dem konzeptionellen Aufbau des 3D-Modells begonnen (Festlegung von Modellgrenzen, geo-logische Einheiten, Datenformate, etc.). Bis dato liegen die erforderlichen Daten noch nicht vor, um sowohl die Vertikalschnitt-Modellierung weiterzuführen als auch den Aufbau des 3D-Modells anzuschließen. Es fanden mehrere Gespräche mit den relevanten Projektpartnern statt, so dass davon auszugehen ist, dass diese Daten in absehbarer Zeit vorliegen werden.

(2) Zurzeit laufen Vorstudien, um eine Modellierung unter Berücksichtigung von zwei verschiedenen Salzspezies durchzuführen. Als maßgebliche chemische Spezies werden dabei NaCl (bei Vollsättigung $\rho \cong 1200 \text{ kg m}^{-3}$, Konzentration 314 g l^{-1}) und MgCl_2 (bei Vollsättigung $\rho \cong 1300 \text{ kg m}^{-3}$, Konzentration 455 g l^{-1}) betrachtet. Da die maximale Sättigung allerdings nichtlinear von den jeweiligen Speziesfraktionen abhängt, muss mittels eines IFM-Moduls ein neues Mischungsgesetz implementiert werden. Die dazu notwendigen Gleichungen werden zurzeit gemeinsam mit BTU aufgestellt, von DHI-WASY implementiert und anschließend an dem vorliegenden Modell getestet.

(3) Es findet derzeit eine Datenakquise statt, um mittels gemessener Salzkonzentrationen in den Vorflutern im Modellgebiet (i. W. Bode) und allgemeiner Pegelwerte eine zusätzliche Kalibrierung durchzuführen. Die bislang vorliegenden Daten haben sich jedoch für eine solche Auswertung als nicht ausreichend erwiesen. Weitere Datenrecherchen sind in Bearbeitung.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die geplanten Weiterarbeiten ergeben sich im Wesentlichen aus den unter 3. (1), (2) und (3) genannten Punkten, vorbehaltlich des Erhalts der notwendigen geometrischen Informationen aus der 3D-Strukturmodellierung. Zurzeit liegt der Schwerpunkt auf der Datenakquise. Die wesentlichen Arbeitsschritte sind danach die numerische Modellierung mindestens zwei weiterer 2D-Vertikalschnitte unter Berücksichtigung von Dichteeffekten zweier verschiedener Salzspezies sowie der Beginn der numerischen Strömungsmodellierung eines 3D-Modells zum Zwecke der Vorkalibrierung anhand gemessener Piezometerhöhen. Anschließend wird die dichteabhängige 3D-Transportmodellierung begonnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Vortrag der BTU Cottbus bei der Tagung der FH-DGG in Göttingen am 24. Mai. DHI-WASY war als Koautor an diesem Beitrag beteiligt.

Zuwendungsempfänger: Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstr. 21, 55122 Mainz		Förderkennzeichen: 02 C 1526
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 7 (JoGU): Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 254.420,00 EUR	Projektleiter: Dr. Enzmann	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Dieses Vorhaben ist Teil des Arbeitspaketes zur zerstörungsfreien Strukturanalyse repräsentativer Bohrkernproben, das sich in vier Aufgaben gliedert:

(1.) Computertomographie der Bohrkernproben (Messungen an der BAM Berlin), (2.) dreidimensionale Visualisierung der inneren Bohrkernstruktur aus den CT-Daten, (3.) Simulation von Fluidmigration in den durch CT ermittelten real-dreidimensionalen Porenraumstrukturen mit Hilfe des Simulationsprogramms „PoreFlow“ und (4.) der Validierung der Modellsimulationen mit Hilfe von orts- und zeitauflösenden Radiotracerexperimenten (PET-Tomogramme des TV8: IIF Leipzig).

Untersuchungsziel ist die strukturelle Analyse an repräsentativen Bohrkernproben zur Bestimmung der durchflusswirksamen Klüftigkeit auf der Skala des Porenraums (μm - cm). Die Erkenntnisse, die aus den Strukturdaten und Fluidsimulationen stammen, sollen u. a. als Inputparameter in die (1) geochemischen Lösungssimulationen (TV1, BTU) und (2) großskaligen hydrogeologischen Grundwassertransportmodelle (TV6, WASY) fließen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Durchführung der CT Experimente an Bohrkernproben

- AP1.1: Bereitstellung der Bohrkernproben in Absprache mit den beteiligten Projektpartnern
- AP1.2: Scannen aller Bohrkernproben mit dem DMT-Corescanner und Datenintegration in die Datenbank „Saltcorebase“
- AP1.3: Unterstützung bei bohrlochgeophysikalischen Messungen
- AP1.4: Durchführung der CT Experimente und Optimierung der Messverfahren und räumlichen Auflösung (FuE mit BAM)
- AP1.5: Übergabe der Proben an das IIF für die PET Experimente

AP2: Auswertung der CT Daten

- AP2.1: 3D Visualisierung der Datensätze
- AP2.2: Abgleich mit Corescanner-Daten und Integration / Dokumentation in der Datenbank „Saltcorebase“
- AP2.3: Generierungen von Simulationsdatensätzen basierend auf CT-Daten
- AP2.4: Durchführung von Fluid- und Tracermigrationssimulationen und Dokumentation der Ergebnisse
- AP2.5: Verifikation und Abgleich der Simulationsergebnisse mit den PET-Experimenten und Dokumentation in Saltcorebase
- AP2.6: Präzisierungen von Input-Parametern für die Auslaugungs- und Transportmodelle der beteiligten Projektpartner

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP1.2 + 1.3:

In 2008 erfolgt eine 2tägige Einarbeitung der FA K-UTEC in die Technik der Kernaufnahme mit Hilfe des Kernscanners DMT CoreScan II (Absprache mit TV1, BGR, Herr Gerardi).

Im Rahmen der unter AP2.2 erläuterten Diplomarbeit sollen Daten der geophysikalischen Bohrlochmessungen mit Kernscannerdaten korreliert werden, um die Bohrungen nachträglich zu orientieren.

AP1.4:

Insgesamt sechs Proben wurden an der BAM gemessen und die Daten unserer Arbeitsgruppe übergeben. Erste an den Datensätzen vorgenommene Auswertungen zeigen nutzbare geologische Strukturen im Sinne der Projektziele von TV 7/8.

AP1.5:

Sämtliche an der BAM und dem PSI (siehe Pkt. 4) und für PET-Experimente als brauchbar eingestufte Proben stehen dem IIF (TV8) zur weiteren Verwendung zur Verfügung.

AP2.1:

Entwicklungsarbeiten für das Postprocessing sind abgeschlossen (digitale Bildfilter, 3D Clusteranalyse). Die Arbeiten sind Voraussetzung für AP2.3.

AP2.2:

In 05/08 wurde eine Diplomarbeit zur Charakterisierung von Riss- und Kluftsystemen mit Hilfe des optischen Kernscannverfahrens begonnen. Im Rahmen dieser Arbeit sollen u. a. Daten geophysikalischer Bohrlochmessungen mit den Kernscannerdaten korreliert werden, um eine nachträgliche räumliche Orientierung der Kernbohrungen zu ermöglichen.

AP2.3:

Zurzeit erfolgt die Auswertung sämtlicher an der BAM gemessener CT-Datensätze. In 3/07 wurde eine Diplomarbeit zur räumlichen Referenzierung der XCT- und PET-Datensätze begonnen, die zwischenzeitlich abgeschlossen wurde (Voraussetzung für die Arbeitspakete 2.3 + 2.4). Die Arbeit erfolgt in Kooperation mit dem Institut für Informatik der Universität Mainz (Prof. E. Schömer). Die Simulationssoftware „PoreFlow“ wird weiterhin optimiert (AP2.4).

4. Geplante Weiterarbeiten

Das Untersuchungsprogramm soll an geeignetem Probenmaterial kommender Tiefbohrungen weitergeführt und für die vorhandenen Proben abgeschlossen werden.

An ausgewählten Proben werden ergänzend neutronentomographische Untersuchungen durchgeführt (SINQ-Anlage des Paul-Scherrer-Instituts in Villigen, Schweiz). Ein entsprechender Antrag auf Messzeit ist an der PSI-SINQ Anfang 08 bewilligt worden. Die erste Messkampagne erfolgt vom 01.08. - 05.08.2008 an der Beamline NEUTRA und die zweite Messzeit vom 08.10. - 12.10.2008 an der Beamline ICON. Die Untersuchungen mit der Neutronen-Tomographie sollen die tomographischen Verfahren XCT und PET methodisch ergänzen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

2 Publikationen in Vorbereitung: (1) „Diagenese im Hauptanhydrit“ in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Reinhard Gaupp, Uni Jena. (2) „Computertomographische Bearbeitung von Bohrkernen“. Posterpräsentation: auf der Tagung MSE08 in Nürnberg vom 01.09. - 02.09.08. Titel: „Application of High Resolution 2D Rock-Core Scanning and 3D X-Ray Computed Tomography to Investigate Geological Features.“

Zuwendungsempfänger: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 C 1536
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 8 (IIF): Tomographische Radiotraceruntersuchungen und Fluoreszenztraceruntersuchungen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 173.362,00 EUR	Projektleiter: Dr. Kulenkampff	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit tomographischen Radiotracerverfahren (PET) werden an Bohrkernen aus verschiedenen Gesteinsformationen des Staßfurter Gebietes lokale Transport- und Lösungsprozesse untersucht und in Verbindung mit den an der JGU Mainz (TV7) durchgeführten CT-Messungen Daten zur Modellierung dieser Prozesse ermittelt. Die zu untersuchenden Bohrkern- und Lösungszusammensetzungen werden in Absprache mit den Verbundpartnern (BTU Cottbus, TV1; TU Clausthal, TV3; K-UTEC Sondershausen, TV4; IHU Stendahl, TV5) ausgewählt. Die zu erwartenden Ergebnisse erweitern das Prozessverständnis und die Datenbasis für die geochemische und geohydrologische Modellierung. In Kooperation mit den Verbundpartnern werden die wissenschaftlichen Grundlagen für die entsprechenden Modelle erweitert und damit die Genauigkeit der Modellansätze erhöht. Eine Übertragung auf die Feldskala wird mit Hilfe von Fluoreszenztraceruntersuchungen in Zusammenarbeit mit der BTU Cottbus (TV1) unternommen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Entwicklung und Test geeigneter PET-Tracer
- AP2: Beschaffung und Inbetriebnahme eines Animal-PET
- AP3: Probenahme und Anpassung der Injektionsmethodik
- AP4: PET-Untersuchung des Fluidtransports an Proben aus dem Deckgestein
- AP5: PET-Untersuchung der Transport- und Löseprozesse an Proben aus der Lagerstätte
- AP6: PET-Untersuchung nach geomechanischer Belastung
- AP7: Bestimmung der räumlichen Verteilung der Transport- und Kinetikparameter
- AP8: Fluoreszenztraceruntersuchungen
- AP9: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP2: Bei den bisherigen Messungen zeigt sich, dass aufgrund der Schwächung der Photonenstrahlung deutliche Effekte durch Rauschen wegen geringer Datendichte sowie Artefakte entstehen. Durch den derzeit erfolgenden Vollausbau werden diese Einschränkungen durch Vergrößerung des Sichtfeldes und Erhöhung der Effektivität behoben.
- AP3: Aufgrund der hohen Salinität der benutzten Modellfluide, die zu deutlichen Korrosionserscheinungen bei metallischen Komponenten führte, wurde die Injektionsmethodik umgestellt, so dass nunmehr geringe Fließraten bei geringem Differenzdruck (< 1 bar) mit Hilfe einer Spritzenpumpe erzeugt werden können.
- AP4: Nach Abschluss der μ CT-Untersuchungen wurden Proben aus dem Buntsandstein und dem Anhydrit erfolgreich untersucht. Die Messdaten werden nach vollständiger Installation der Auswertesoftware mit Abschluss der Ausbauarbeiten skaliert und den Partnern zur Verfügung gestellt.
- AP5: Gemäß der im Projektworkshop präzisierten Aufgabenstellung bezüglich der Ablaugung des Leinesteinsalzes wurde zunächst eine Steinsalzprobe für die Untersuchung von Löseprozessen präpariert. Weitere Proben werden beschafft und im Laufe des nächsten Halbjahres untersucht.
- AP7: Für einfache Auswertungen (Parameteranpassung blockweise oder längs achsparalleler Kanäle) stehen nun geeignete Verfahren zur Verfügung. Zur Entwicklung besser geeigneter Verfahren, die eine prozessangepasste räumliche Parameterverteilung liefern sollen, wird derzeit eine Kooperation mit dem Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik in Berlin vorbereitet.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die skalierten Messergebnisse werden in Kürze, nach endgültiger Installation der PET-Betriebssoftware, an TV7 und die Projektdatenbank übergeben. Im Vordergrund der weiteren Untersuchungen soll das saline Deckgebirge stehen, um eine bessere Bewertungsgrundlage für das Absaufen der Grube und für mögliche rezente Ablaugungsvorgänge zu gewinnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

J. Kulenkampff, M. Gründig, M. Richter, F. Enzmann: Evaluation of Positron-Emission-Tomography for visualisation of migration processes in geomaterials. Physics and Chemistry of the Earth.

J. Kulenkampff, M. Gründig, M. Richter, M. Wolf and O. Dietzel: First applications of a small-animal-PET scanner for process monitoring in rocks and soils. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-00000, 2008

J. Kulenkampff, M. Gründig, M. Richter, M. Wolf, J. Lippmann-Pipke: Direct transport process observation in geomaterials: High potential for the GeoPET-method. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-00000, 2008

Zuwendungsempfänger: Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30655 Hannover		Förderkennzeichen: 02 C 1546
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 9 (GGA-S1): Deckgebirgseigenschaften über einem bergbaubedingt destabilisiertem Untergrund, abgeleitet aus seismischen Beobachtungen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 265.635,00 EUR	Projektleiter: Dr. Polom	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zielsetzung des TV 9 ist die gebirgsmechanische Analyse und Bewertung des Tragverhaltens des Gebirges über und in den abgesoffenen und z. T. verbrochenen Grubenbauen sowie Ursachenforschung zur Hydrodynamik im oberflächennahen und tieferen Grundwasserstockwerk mit ihren vielfältigen Wechselwirkungen und Lösungsvorgängen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Erfassung der realen physikalischen Strukturierung der Formation und ihrer internen elastomechanischen Eigenschaften mittels eines 2D-seismischen Profilnetzes unter kombinierter Verwendung von P- und S-Raumwellen und Überführung in das geologische Modell.
- Einbindung dieses Profilnetzes in die punktuell vorliegenden Informationen aus Flach- und Tiefbohrungen (BTU Cottbus) zur schlüssigen Verknüpfung und Extrapolation in die Fläche.
- Anschließende Verschneidung mit anderen Flächen- bzw. Rauminformationen aus der Aero-geophysik, Geoelektrik, Elektromagnetik und dem seismologischen Monitoring (alle BGR).
- Zur Teufenkalibrierung der seismischen Oberflächenmessungen und zur Verifizierung anderer bohrlochgeophysikalischer Daten (K-UTEK) werden zusätzlich vertikalseismische Profile (VSP) unter Verwendung einer digitalen 3K-Geophonsonde und vibrationsseismischer P- und S-Quellen in den Tiefbohrungen sowie in ausgewählten Flachbohrungen durchgeführt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Aktuell sind alle 13 P-Wellenprofile aus den Projekt-Messkampagnen prozessiert worden, wobei zunächst Wert darauf gelegt wurde, einen ersten Überblick über das gemessene Gebiet zu bekommen. Im Anschluss erfolgt ein vertiefendes Spezialprozessing der einzelnen Profile. Unter realistischen Gesichtspunkten kann das Auflösungsvermögen der P-Wellen-Seismik im Bereich des Staßfurter Sattels mit 10- 20 m eingeschätzt werden und die Erfassungstiefe für geologische Strukturen mit ca. 1400 m. Damit ist mittels der P-Wellen-Seismik eine detaillierte Erfassung der geologischen Untergrundstruktur im Arbeitsgebiet realisierbar. Generell zeichnet sich ab, dass die P-Wellen-Vibro-seismik trotz der erheblichen Bodenunruhe im Bereich des Stadtgebiets zu realistischen Ergebnissen führt.

Die S-Wellen-Profile, von denen bislang 3 Profile prozessiert wurden, haben aufgrund der geringeren Ausbreitungsgeschwindigkeit der S-Wellen im Untergrund ein höheres Auflösungsvermö-

gen, das mit etwa 3-5 m abgeschätzt werden kann. Die Eindringtiefe liegt bedingt durch die offensichtlich deutlich höhere Dämpfung bei den schon ausgewerteten Profilen bei bis zu 200 m, im Mittel bei etwa 50 m. Damit ist es unter anderem möglich, diesen Tiefenbereich in Ergänzung zu den P-Profilen höher auflösend darzustellen.

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern werden die Ergebnisse der Seismik den Ergebnissen der Hubschrauber-Elektromagnetik, der Geoelektrik und dem 3-D Hohlraummodell verglichen. So konnten beispielsweise im Bereich des Strandbades geologische Störungen detektiert werden, welche auch mittels geoelektrischer Verfahren nachgewiesen wurden. Des Weiteren ist eine bessere Tiefenkonversion in diesem Gebiet durch die exakten Tiefeninformationen aus dem Hohlraummodell möglich, die dann in andere Bereiche extrapoliert werden können.

Das erste Ergebnis der LIDAR Auswertung zeigt Störungsstrukturen an der Erdoberfläche, die auch in den seismischen Sektionen sichtbar sind. Mittels dieser Korrelationen können die Störungen daher auch in den Untergrund verfolgt werden. Exemplarisch sind hier die Störungen im Bereich Strandbad zu nennen. Diese setzen sich offensichtlich nordwestlich unterhalb der Bernburger Straße fort und werden in 4 P-Wellen-Profilen deutlich abgebildet.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die für eine Übersichtsauswertung prozessierten P-Wellen-Profile werden nun sukzessive einem Feinprozessing unterzogen. In gleicher Weise wird mit den S-Wellen-Profilen verfahren. Bei diesen ist infolge der komplizierten geologischen Verhältnisse in Staßfurt ein erhöhter Arbeitsaufwand notwendig.

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen bei der Datenauswertung erscheint es sinnvoll, eine weitere Messkampagne in Staßfurt durchzuführen, um die bisher verwendeten Akquisitionsparameter in Hinblick auf zukünftige Anwendungen exemplarisch zu optimieren. Insbesondere betrifft dies folgende Punkte:

- Anregung der S-Wellen unterhalb von 100 Hz, um die erheblich störenden Einflüsse des z. B. an Gebäuden reflektierten Luftschalls zu vermindern,
- Verringerung des Anregungspunktabstandes bei P-Wellenmessungen (erfolgversprechende Ergebnisse haben sich hier bei dem Profil „Am Strandbad“ ergeben),
- Referenzmessungen mit S-Wellen am südlichen Ende des Profils „Am Strandbad“, da dort ein weitgehend ungestörter Bereich angetroffen wurde und somit der Einfluss von gestörten Deckgebirgsbedingungen auf die erzielbare Eindringtiefe und die spektrale Charakteristik der Signale überprüft werden können.

Für diese abschließenden Feldarbeiten stehen noch Reisemittel zur Verfügung, die bei Bedarf aufgrund des methodischen Forschungsinteresses des GGA-Instituts an diesen Arbeiten aus Haushaltsmitteln ergänzt werden können.

Eventuelle weitere Profile zur Verdichtung der vorliegenden Informationen werden mit den Projektpartnern im Vorfeld abgestimmt. Sollte dabei weiterer, dringend notwendiger Bedarf geäußert werden, müssen Einschränkungen bei den geplanten Projektarbeiten vorgenommen werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Leder, T., Polom, U.: Seismische Analyse mittels S- und P-Wellen in urbanen Gebieten - bergbaubedingte Destabilisierungsvorgänge in der Stadt Staßfurt, 68. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Freiberg, 3. - 6.3.2008.

Zuwendungsempfänger: Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Stilleweg 2, 30655 Hannover		Förderkennzeichen: 02 C 1556
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 10 (GGA-S3): Isotopenhydrologische Untersuchungen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2006 bis 30.06.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 253.554,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Frechen	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Teilvorhabens TV10 ist die isotopenhydrologische Charakterisierung der Grundwässer zum Nachweis von hydraulischen Verbindungen und dem Zu- und Abflussverhalten der Wasserreservoirs der gefluteten Salzbergwerke.

- Isotopenhydrologische Untersuchung der untertägigen Wässer sowie des Vorfluters im Bereich der Stadt Staßfurt
- Quantifizierung von Mischungen zwischen Wässern und Salzlösungen unterschiedlicher Herkunft
- Rekonstruktion lokaler Wasserfließsysteme
- Interpretation der hydrodynamischen Zusammenhänge als Ergebnis des multidisziplinären Gesamtkonzeptes der Arbeitsgruppe

Die Auswahl geeigneter Bohrungen, Pegel und Wasserbrunnen für die Beprobung im Untersuchungsgebiet findet in enger Abstimmung mit den Projektpartnern, insbesondere BTU Cottbus (TV1), K-UTEC (TV4) und IHU Stendal (TV5) statt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das TV10 umfasst folgendes Arbeitsprogramm:

- Pflege des Datenbestandes inkl. Datenrecherche und Erweiterung des Altdatenbestandes
- Isotopenhydrologische Probennahme vor Ort aus den Tiefbohrungen und aus den Flachpegeln
- Isotopenhydrologische Messanalytik im Labor. Untersuchung der stabilen Isotope, Tritium, Tritium/³Helium, ¹⁴C-Datierung, FCKW und SF₆.
- Dateninterpretation:
 - Bestimmung der Alterstruktur der salinaren Wässer und damit der Verweilzeiten und des Zu- und Abstroms.
 - Rekonstruktion der lokalen Wasserfließsysteme bzw. der hydrodynamischen Verhältnisse.
 - Beurteilung der Migration von Wasser und Lösungen, mit denen ein weiterer Lösungsangriff innerhalb der Flutungsräume verbunden sein kann
- Publikation der Ergebnisse auf Tagungen und in einschlägigen Fachzeitschriften.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In diesem Berichtszeitraum wurde eine weitere isotopenhydrologische Messkampagne durchgeführt. Dazu wurden im März und April 2008 in enger Zusammenarbeit mit dem Projektpartner BTU Cottbus und dem Ingenieurbüro IHU Geologie und Analytik Stendal 24 Grundwasser-Messstellen verschiedener Tiefen beprobt. Die Analytik dieser entnommenen Proben auf ^3H , $^3\text{He}/^4\text{He}$, FCKW, ^{18}O , ^2H , $^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$, $^{18}\text{O-SO}_4^{2-}$ und ^{14}C wird während der nächsten Monate fortgeführt.

Zur Identifikation der Englieder aus Mischungsreihen, die zur Validierung von Berechnungen zur Grundwasserverweilzeit benötigt werden, wurde die Analytik von Gesteinsmaterial auf $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ und $^{34}\text{S}/^{18}\text{O}_4$ initiiert, welches vom Bohrkern G1 entnommen wurde. In Vorbereitung dieser Messungen wurden an den ausgewählten Proben Röntgenfluoreszenzmessungen begonnen.

Erste Modellrechnungen zur Bestimmung der Grundwasserverweilzeiten mittels transienter Tracer wurden durchgeführt und auf einem Projektworkshop in Kelbra im Juni präsentiert. Außerdem wurden erste Ergebnisse dieses Teilvorhabens auf der „EGU General Assembly 2008“ im Wien präsentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Fortlaufenden Modellrechnungen zur Bestimmung von Grundwasserverweilzeiten und Bewertung der Isotopensignaturkombinationen zur Bestimmung von Herkunftsindikatoren des Grundwassers. Abgleich der gewonnenen Daten mit wasserchemischen Erkenntnissen der BTU Cottbus.

Planung und Durchführung einer weiteren Beprobungskampagne an bestehenden Bohrungen, um teufen- und lithologiebezogene Isotopenmuster zu spezifizieren. Hierbei wird wieder in der Planung, Durchführung und der Korrelation mit hydrochemischen Daten in enger Zusammenarbeit mit der BTU Cottbus und IHU Stendal verfahren.

Fortlaufenden Analytik der bereits entnommenen Wasserproben im GGA-Labor (stabile Isotope und ^{14}C -Datierung) sowie weitere Vergabe von Analytikaufträgen (Tritium und FCKW/SF₆) noch in 2008 zu entnehmenden Wasserproben.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Stadler, S., Frechen, M. (2008): Groundwater dynamics in flooded salt mines: an environmental isotope approach. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-00000, 2008, EGU General Assembly 2008.

Zuwendungsempfänger: Dr. Andreas Hampel, Pfarrer-Heberer-Str. 34, 55411 Bingen		Förderkennzeichen: 02 C 1577
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 1		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2007 bis 30.04.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 238.963,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hampel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel (FKZ 02C1577), IfG Leipzig (02C1587), FZ Karlsruhe (02C1597), Universität Hannover (02C1607) und TU Clausthal (02C1617) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertage-Einlagerung von gefährlichen Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern.

Dieses Folgevorhaben setzt inhaltlich das Verbundprojekt "Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen" (Laufzeit: 01.04.2004 bis 30.11.2006) fort. Im Folgevorhaben führt jeder Partner mit seinem Stoffgesetz und Programmsystem 3D-Benchmark-Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung in einem realen Untertagebauwerk im Steinsalz durch. Dabei wird auch die Permeabilitätsentwicklung in der Auflockerungszone einbezogen sowie eine Langzeitextrapolation des mechanischen Verhaltens vorgenommen. Das Projekt dient einer realitätsnäheren Einschätzung der Stoffgesetzfähigkeiten im Hinblick auf deren Einsatz bei der praktischen Anwendung der Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop der Projektpartner
- AP2: Planung und Durchführung des untertägigen Bohr- und Messprogramms sowie der Laboruntersuchungen
- AP3: Vorbereitung der Modellrechnungen einschließlich der Bestimmung von salztypspezifischen Kennwerten für die Stoffgesetzparameter
- AP4: 3D-Modellberechnungen eines untertägigen Grubenausschnitts mit FEM/FDM
- AP5: Erstellung von Ergebnisberichten durch die Projektpartner
- AP6: Vergleich der Stoffgesetze, Verfahrensweisen und Ergebnisse der Modellrechnungen, Ausarbeitung von Empfehlungen
- AP7: Durchführung weiterer Workshops und Treffen der Projektpartner
- AP8: Durchführung eines öffentlichen Ergebnis-Workshops
- AP9: Schriftliche Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Zuwendungsempfänger beteiligt sich im Teilvorhaben 1 mit dem von ihm in Kooperation mit der BGR Hannover entwickelten Composite-Dilatanz-Modell (CDM) an dem Stoffgesetzvergleich und verwendet das Finite-Differenzen-Programm FLAC-3D (Fa. Itasca).

Im Berichtszeitraum hat der Zuwendungsempfänger zunächst sein FLAC-3D-Modell des von allen Partnern für die Benchmark-Modellrechnungen mit dem jeweiligen Stoffgesetz und Programmsystem ausgewählten Ausschnitts der Grube Angersdorf erstellt sowie die Randbedingungen und den Anfangsspannungszustand aufgeprägt. Das Modell mit 37.450 Elementen und 45.711 Knoten repräsentiert horizontal einen Bereich von 745 m x 20 m sowie eine Tiefe von -700 m bis +100 m (Tagesoberfläche). Es berücksichtigt das Einfallen der geologischen Schichten Hauptanhydrit, Leine-Steinsalz (Na3), roter Salzton, Aller-Steinsalz (Na4) und Deckgebirge um 9 Grad. Für die Berechnung des Na3 und Na4 mit dem CDM wurden zunächst die anhand der bereits vorliegenden Laborversuchsergebnisse vorläufig ermittelten CDM-Parameterkennwerte eingesetzt. Für die übrigen Schichten haben die Projektpartner die jeweiligen Stoffmodelle (Mohr-Coulomb, Norton, Hooke) und zugehörigen Parameterkennwerte zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse für alle verbindlich vorgegeben.

Mit diesem den Partnern auf dem 3. Projekt-Workshop im April 2008 vorgestellten FLAC-3D-Modell wurde anschließend eine Testrechnung für einen Simulationszeitraum von 100 Jahren durchgeführt. Dazu wurden zunächst die numerischen Ungleichgewichtskräfte im Modell in einer i. W. elastischen Berechnung des Modells vor und nach der simulierten Auffahrung der Hohlräume (Strecken, Abbaukammer und streichender Abbau) auf sehr niedrige Werte reduziert. Die anschließende Kriechphase bis 100 Jahre nach der Auffahrung erfolgte unter Berücksichtigung von Dilatanz und Schädigung in 39.753 Programmschritten.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2008 wird der Zuwendungsempfänger die Ergebnisse der ersten Modellrechnung im Detail auswerten sowie zusätzliche, von den Verbundpartnern für alle gemeinsam festgelegte Berechnungen durchführen. Auf weiteren Projekt-Workshops werden die jeweiligen Ergebnisse der Partner diskutiert und die weitere gemeinsame Vorgehensweise im Detail besprochen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum: Keine.

Aktuelle Literatur zum CDM-Stoffgesetz und zum Vorgängerprojekt:

- Hampel, A. & O. Schulze (2007): The Composite Dilatancy Model: A constitutive model for the mechanical behavior of rock salt. In: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (Saltmech 6), Hannover, Mai 2007, Taylor & Francis (A.A. Balkema Publ.), Lisse.
- Hampel, A. (2007): Vergleich aktueller Stoffgesetze für die Modellierung von Untertagebauwerken im Steinsalz. – In: C. Drebenstedt, W. Kudla, H. Konietzky & B. Jung (Hrsg.): Modellierung, Simulation und Visualisierung von Prozessen in Bergbau und Bauwesen; Freiburger Forschungsforum, 58. Berg- und Hüttenmännischer Tag 2007, Freiburger Forschungshefte, C515 Geotechnik, TU Bergakademie Freiberg, S. 211-224.
- Hampel, A., O. Schulze, U. Heemann, F. Zetsche, R.-M. Günther, K. Salzer, W. Minkley, Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, D. Zapf, R. Rokahr, A. Pudewills (2007): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. Abschlussbericht (Einzelberichte + Synthesebericht) z. BMBF-Verbundprojekt (FKZ 02C1004 - 1054), Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger PTKA-WTE.

Zuwendungsempfänger: IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig		Förderkennzeichen: 02 C 1587
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 2		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2007 bis 30.04.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 281.450,00 EUR	Projektleiter: Dr. Salzer	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel (FKZ 02C1577), IfG Leipzig (02C1587), FZ Karlsruhe (02C1597), Universität Hannover (02C1607) und TU Clausthal (02C1617) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertage-Einlagerung von gefährlichen Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern.

Dieses Folgevorhaben setzt inhaltlich das Verbundprojekt "Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen" (Laufzeit: 01.04.2004 bis 30.11.2006) fort. Im Folgevorhaben führt jeder Partner mit seinem Stoffgesetz und Programmsystem 3D-Benchmark-Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung in einem realen Untertagebauwerk im Steinsalz durch. Dabei wird auch die Permeabilitätsentwicklung in der Auflockerungszone einbezogen sowie eine Langzeitextrapolation des mechanischen Verhaltens vorgenommen. Das Projekt dient einer realitätsnäheren Einschätzung der Stoffgesetzfähigkeiten im Hinblick auf deren Einsatz bei der praktischen Anwendung der Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop der Projektpartner
- AP2: Planung und Durchführung des untertägigen Bohr- und Messprogramms sowie der Laboruntersuchungen
- AP3: Vorbereitung der Modellrechnungen einschließlich der Bestimmung von salztypspezifischen Kennwerten für die Stoffgesetzparameter
- AP4: 3D-Modellberechnungen eines untertägigen Grubenausschnitts mit FEM/FDM
- AP5: Erstellung von Ergebnisberichten durch die Projektpartner
- AP6: Vergleich der Stoffgesetze, Verfahrensweisen und Ergebnisse der Modellrechnungen, Ausarbeitung von Empfehlungen
- AP7: Durchführung weiterer Workshops und Treffen der Projektpartner
- AP8: Durchführung eines öffentlichen Ergebnis-Workshops
- AP9: Schriftliche Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Das vorliegende Teilvorhaben 2 beteiligt sich mit dem visko-elasto-plastischen Stoffmodell nach MINKLEY und dem erweiterten Dehnungs-Verfestigungsansatz nach GÜNTHER/SALZER am Stoffgesetzvergleich und verwendet das Programm FLAC-3D.

Das IfG hat im Berichtszeitraum die Gewinnung eines Leine-Steinsalz-Blocks mit den Abmessungen 0,6 m x 0,6 m x 2,0 m in der Grube Teutschenthal bzw. Angersdorf durchgeführt, den Messort für die Realisierung der In-situ-Messungen vorbereitet und die Bohrungen für die Installation der Extensiometer gestoßen. Weiterhin wurden die Prüfkörper für die Durchführung des Laborprogramms aus dem Steinsalz-Block hergestellt. Auf dem 3. gemeinsamen Workshop der am 9./10. April beim IfG in Leipzig durchgeführt wurde und am zweiten Tag mit einer Befahrung des Messortes in der Grube Angersdorf verbunden war, wurden die für die Durchführung der abgestimmten Laborversuche erforderlichen Prüfkörper einschließlich einer Reserve an die Vertreter der TU Clausthal übergeben.

Das IfG hat die bereits vorliegenden Versuchsdaten, ausgewertet sowie erste Anpassungen zur vorläufigen Bestimmung der salztypspezifischen Kennwerte der Stoffgesetzparameter durchgeführt. Im ersten Halbjahr 2008 hat das IfG das FLAC-3D-Modell des gemeinsam für die Benchmark-Modellrechnungen ausgewählten Ausschnitts der Grube Angersdorf erstellt. Mit diesem Modell und auf der Basis der gesteinsmechanischen Anpassungen wurden erste Rechnungen mit dem erweiterten Dehnungs-Verfestigungsansatz nach GÜNTHER/SALZER durchgeführt, um die angenommene Erholungszeit für das Kriechen an die beobachtete Senkungsentwicklung anzupassen. Die angepasste Erholungszeit beträgt 5 Jahre und liegt damit im Erwartungsbereich für diesen Kriechparameter. Mit dieser Erholungszeit wurde zunächst eine Prognoserechnung bis zu 127 Jahren realisiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2008 wird das IfG die Berechnungen mit dem erweiterten Dehnungs-Verfestigungsansatz fortsetzen mit dem FLAC-3D-Modell für den ausgewählten Gebirgsausschnitts der Grube Angersdorf. Weiterhin wird mit den Rechnungen auf Basis des visko-elasto-plastischen Stoffmodells nach MINKLEY begonnen.

Außerdem wird das IfG Leipzig für den Verbund in der Grube Angersdorf die Extensiometer installieren und die Verformungsmessungen beginnen sowie die verbleibenden In-situ-Messungen zur Ermittlung von Permeabilität und Minimalspannung im Pfeilerquerschnitt realisieren.

Weiterhin ist geplant, die ergänzenden Laborversuche (Kriech- und Festigkeitsversuche) zur Präzisierung der Stoffmodellparameter zu beginnen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 C 1597
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 3		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2007 bis 30.04.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 120.265,00 EUR	Projektleiter: Pudewills	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel (FKZ 02C1577), IfG Leipzig (02C1587), FZ Karlsruhe (02C1597), Universität Hannover (02C1607) und TU Clausthal (02C1617) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertage-Einlagerung von gefährlichen Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern. Dieses Folgevorhaben setzt inhaltlich das Verbundprojekt "Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen" (Laufzeit: 01.04.2004 bis 30.11.2006) fort. Im Folgevorhaben führt jeder Partner mit seinem Stoffgesetz und Programmsystem 3D-Benchmark-Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung in einem realen Untertagebauwerk im Steinsalz durch. Dabei wird auch die Permeabilitätsentwicklung in der Auflockerungszone einbezogen sowie eine Langzeitextrapolation des mechanischen Verhaltens vorgenommen. Das Projekt dient einer realitätsnäheren Einschätzung der Stoffgesetzfähigkeiten im Hinblick auf deren Einsatz bei der praktischen Anwendung der Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop der Projektpartner
- AP2: Planung und Durchführung des untertägigen Bohr- und Messprogramms sowie der Laboruntersuchungen
- AP3: Vorbereitung der Modellrechnungen einschließlich der Bestimmung von salztypspezifischen Kennwerten für die Stoffgesetzparameter
- AP4: 3D-Modellberechnungen eines untertägigen Grubenausschnitts mit FEM/FDM
- AP5: Erstellung von Ergebnisberichten durch die Projektpartner
- AP6: Vergleich der Stoffgesetze, Verfahrensweisen und Ergebnisse der Modellrechnungen, Ausarbeitung von Empfehlungen
- AP7: Durchführung weiterer Workshops und Treffen der Projektpartner
- AP8: Durchführung eines öffentlichen Ergebnis-Workshops
- AP9: Schriftliche Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im ersten Halbjahr 2008 wurde das "User- Stoffmodell" im Programm ADINA zur Berechnung von volumetrischen Verformungen in 3D-Strukturen erweitert. Die Kennwerte für die Stoffgesetzparameter wurden an vorhandene IFG und BGR Laborversuche angepasst. Weiterhin wurde eine lokale Struktur zum Testen des ADINA Code bzw. des Stoffmodells hinsichtlich der Rechengenauigkeit und des Aufwands untersucht.

Mit dem Programm-Modul ADINA-M wurde ein 3D-Modell in Anlehnung an den zu untersuchenden Ausschnitt der Grube Angersdorf erstellt. Es wurde der Anfangsspannungszustand unter Berücksichtigung der einfallenden, geologischen Schichten berechnet. Aufgrund von unterschiedlichem Materialverhalten der verschiedenen Schichten wurde eine Konzentration der Spannungen an rotem Salzion/Steinsalz-Übergang berechnet. Wegen unterschiedlicher Dichte der geologischen Schichten wurde nach ca. 200 Jahren noch kein isostatischer Zustand erreicht. Um den Gleichgewichtszustand des Gebiets bei lateralen Dichteviationen zu realisieren, wurden verschiedene Vorschläge mit den Projektpartner während des 4. Workshop am 17.07.2008 diskutiert und die weitere Vorgehensweise im Detail besprochen.

Die Hohlraumerstellung wurde am Beispiel eines neuen 3D-Modells simuliert, bei dem die Geometrie der Abbaukammer, der Strecken und der streichender Abbau entsprechend der Vorgabe detailliert berücksichtigt wurde. Das FE-Modell mit 84.333 Elementen und 115.626 Knoten repräsentiert einen Gebirgsbereich von ca. 180 m Länge, 20 m Breite und 100 m Tiefe. Dieses Teilmodell lässt sich einfach im Gesamtmodell einbauen. Für diesen Testfall wurde der Anfangsspannungszustand als hydrostatisch angenommen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2008 werden die Ergebnisse der ersten Modellrechnung im Detail ausgewertet sowie zusätzliche von den Verbundpartnern für alle gemeinsam festgelegte Berechnungen durchgeführt. Auf weiteren Projekt-Workshops werden die jeweiligen Ergebnisse der Partner diskutiert und die weitere gemeinsame Vorgehensweise im Detail besprochen. Parallel dazu werden die ergänzenden Laborversuche (Kriech- und Festigkeitsversuche) der IfG - Leipzig und TU - Clausthal ausgewertet, um die Stoffparameter neu anzupassen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Pudewills, A.(2007): BMBF-Verbundprojekt Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen, Wissenschaftliche Berichte, FZKA-7314, Juni 2007

Pudewills, A. (2007): Modeling of hydro-mechanical behavior of rock salt in the near field of repository excavations, Proc. of the Mechanical Behavior of Salt -Understanding of the THMC Processes in Salt-, M. Wallner, K.-H. Lux, W. Minkley, & H.R. Hardy, Jr. (eds), Taylor & Francis Group, London, pp 195-200, ISBN-0-415-44398-2

Hampel, A., O. Schulze, U. Heemann, F. Zetsche, R.-M. Günther, K. Salzer, W. Minkley, Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, D. Zapf, R. Rokahr, A. Pudewills (2007): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. Abschlussbericht (Einzelberichte + Synthesericht) z. BMBF-Verbundprojekt (FKZ 02C1004-1054), Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger PTKA-WTE.

O. Schulze, U. Heemann, F. Zetsche, A. Hampel, R. Günther, W. Minkley, K. Salzer, A. Pudewills, R. Rokahr, D. Zapf, Z. Hou, R. Wolters & U. Düsterloh (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, I. Modeling of deformation processes and benchmark calculations. – Proc. of the Mechanical Behavior of Salt - Understanding of the THMC Processes in Salt-, M. Wallner, K.-H. Lux, W. Minkley, & H.R. Hardy, Jr. (eds), Taylor & Francis Group, London, pp 77-88, ISBN-0-415-44398-2

Pudewills, A. (2007): Numerical investigation of the long-term evolution of the excavation disturbed zone, Int. Conf. on Rad. Waste Disposal in Geological Formations, Braunschweig, 6.-9. Nov. 2007.

Zuwendungsempfänger: Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		Förderkennzeichen: 02 C 1607
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 4		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2007 bis 30.04.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 132.635,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Rokahr	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel (FKZ 02C1577), IfG Leipzig (02C1587), FZ Karlsruhe (02C1597), Universität Hannover (02C1607) und TU Clausthal (02C1617) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertage-Einlagerung von gefährlichen Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern.

Dieses Folgevorhaben setzt inhaltlich das Verbundprojekt "Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen" (Laufzeit: 01.04.2004 bis 30.11.2006) fort. Im Folgevorhaben führt jeder Partner mit seinem Stoffgesetz und Programmsystem 3D-Benchmark-Modellberechnungen zur Spannungs-, Verformungs-, Dilatanz- und Schädigungsentwicklung in einem realen Untertagebauwerk im Steinsalz durch. Dabei wird auch die Permeabilitätsentwicklung in der Auflockerungszone einbezogen sowie eine Langzeitextrapolation des mechanischen Verhaltens vorgenommen. Das Projekt dient einer realitätsnäheren Einschätzung der Stoffgesetzfähigkeiten im Hinblick auf deren Einsatz bei der praktischen Anwendung der Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagedeponien im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop der Projektpartner
- AP2: Planung und Durchführung des untertägigen Bohr- und Messprogramms sowie der Laboruntersuchungen
- AP3: Vorbereitung der Modellrechnungen einschließlich der Bestimmung von salztypspezifischen Kennwerten für die Stoffgesetzparameter
- AP4: 3D-Modellberechnungen eines untertägigen Grubenausschnitts mit FEM/FDM
- AP5: Erstellung von Ergebnisberichten durch die Projektpartner
- AP6: Vergleich der Stoffgesetze, Verfahrensweisen und Ergebnisse der Modellrechnungen, Ausarbeitung von Empfehlungen
- AP7: Durchführung weiterer Workshops und Treffen der Projektpartner
- AP8: Durchführung eines öffentlichen Ergebnis-Workshops
- AP9: Schriftliche Dokumentation der Ergebnisse (Abschlussbericht und Veröffentlichung)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Zuwendungsempfänger beteiligt sich im Teilvorhaben 4 mit dem von ihm entwickelten Stoffgesetz IUB-MDCF an dem Stoffgesetzvergleich und verwendet das Finite-Differenzen-Programm Flac3D der Firma Itasca.

Im Berichtszeitraum hat der Zuwendungsempfänger das erstellte Berechnungsmodell weiter modifiziert. Es wurde hierbei ein besonderer Schwerpunkt auf die Homogenisierung der Diskretisierung gelegt. Die Ver-

netzung wurde im Bereich der Abbaukammern verfeinert, die Übergänge zwischen den einzelnen Gebirgsschichten wurden entsprechend den zu erwartenden Ergebnissen angepasst. Aktuell beinhaltet das Berechnungsmodell ca. 150.000 Elemente und ca. 170.000 Knotenpunkte. Damit wird der zuvor gemeinsam festgelegte Gebirgsausschnitt mit den Abmessungen von 745 m x 20 m horizontal und eine Tiefe von -700 m bis +100 m vertikal diskretisiert. Die mit einem Winkel von 9° einfallenden Schichten Hauptanhydrit, Leine-Steinsalz (Na3), roter Salzton, Aller-Steinsalz (Na4) und Deckgebirge wurden im Berechnungsmodell berücksichtigt. Die ersten Berechnungen wurden zunächst an einem Modell durchgeführt, in dem keine Unterscheidung für die einzelnen Schichten bezüglich Stoffgesetze und Kennwerte vorgenommen wurde. Das gesamte Berechnungsmodell wurde zunächst mit dem Stoffgesetz Lubby2 berechnet, um zu überprüfen, wie das Programmsystem Flac3D mit dem Berechnungsmodell und der gewählten Diskretisierung insbesondere in Hinblick auf die Berechnungszeit umgeht. Anschließend wurden die Kennwerte für die mit dem Stoffgesetz IUB-MDCF zu berechnenden Steinsalzschieben aus den bisher vorliegenden Laborversuchen festgelegt. Die Stoffgesetze (Hooke, Norton und Mohr-Coulomb) und Kennwerte für die übrigen Schichten wurden für jeden Projektpartner verbindlich vorgegeben.

Die Simulation des Modells mit dem Stoffgesetz IUB-MDCF zeigte in einigen Punkten Schwierigkeiten, die bis zum Ende des Berichtszeitraums noch nicht behoben werden konnten. Firma Itasca, die beauftragt wurde, das Stoffgesetz in Flac3D zu implementieren, arbeitete zusammen mit dem Zuwendungsempfänger an der Behebung der auftretenden Fehler.

Auf dem 3. Workshop im April 2008 in Leipzig wurde das Berechnungsmodell vorgestellt. Erste Berechnungsergebnisse zur Einschätzung des Spannungszustands sowie ein Vergleich unterschiedlicher Diskretisierungen und deren Einfluss auf die Ergebnisse des Spannungs- und Verformungsverhaltens wurden ebenfalls dort präsentiert.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2008 wird der Zuwendungsempfänger weitere Modellrechnungen durchführen und zusätzliche, von den Verbundpartnern für alle gemeinsam festgelegten Berechnungen simulieren. Auf weiteren Projekt-Workshops werden die Ergebnisse diskutiert und die weitere gemeinsame Vorgehensweise im Detail besprochen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- Aktuelle Literatur zum IUB-MDCF Stoffgesetz und zum Vorgängerprojekt
 - Hauck, R. (2001): Tragverhalten tiefliegender Salzkavernen bei atmosphärischem Innendruck
 - Hampel, A., O. Schulze, U. Heemann, F. Zetsche, R.-M. Günther, K. Salzer, W. Minkley, Z. Hou, R. Wolters, U. Düsterloh, D. Zapf, R. Rokahr, A. Pudewills (2007): Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen. Abschlussbericht (Einzelberichte + Synthesericht) z. BMBF-Verbundprojekt (FKZ 02C1004-1054), Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger PTKA-WTE.
 - Schulze, O., U. Heemann, F. Zetsche, A. Hampel, A. Pudewills, R.-M. Günther, W. Minkley, K. Salzer, Z. Hou, R. Wolters, R. Rokahr & D. Zapf (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, I. Modeling of deformation processes and benchmark calculations. *)
 - Hou, Z., R. Wolters, U. Düsterloh, R. Rokahr, D. Zapf, K. Salzer, R.-M. Günther, W. Minkley, A. Pudewills, U. Heemann, O. Schulze, F. Zetsche & A. Hampel (2007): Comparison of advanced constitutive models for the mechanical behavior of rock salt - results from a joint research project, II. Numerical modeling of two in situ case studies and comparison. *)
- *) In: K.-H. Lux, W. Minkley, M. Wallner & H.R. Hardy, Jr. (Hrsg.): Basic and Applied Salt Mechanics; Proc. of the Sixth Conf. on the Mechanical Behavior of Salt (Saltmech 6), Hannover, Mai 2007, Taylor & Francis (A.A. Balkema Publ.), Lisse.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Str. 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld		Förderkennzeichen: 02 C 1617
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 5		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2007 bis 30.04.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 187.145,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Lux	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Zusammenarbeit der Projektpartner Dr. Hampel (FKZ 02C1577), IfG Leipzig (02C1587), FZ Karlsruhe (02C1597), Universität Hannover (02C1607) und TU Clausthal (02C1617) hat das Ziel, Instrumentarien für die Nachweise zur sicheren und dauerhaften Untertageeinlagerung von gefährlichen Abfällen in Steinsalzformationen zu verbessern.

Dieses Verbundvorhaben schließt sich inhaltlich an das BMBF-Verbundvorhaben „Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen“ an. Auch in diesem Folgevorhaben sollen in enger Kooperation mit den Projektpartnern Erfahrungen auf dem Gebiet der Salzmechanik ausgetauscht werden. Anhand von 3D-Benchmark-Modellberechnungen untersucht jeder Partner mit seinem Stoffgesetz und Programmsystem die Phänomene Kriechen, Dilatanz, Schädigung, Bruch, Nachbruchverhalten und Permeabilitätsentwicklung in einem realen Untertagebauwerk im Steinsalz und führt eine Langzeitextrapolation des mechanischen Verhaltens durch. Das Projekt dient einer realistischeren Einschätzung der Stoffgesetzfähigkeiten im Hinblick auf ihren Einsatz bei der praktischen Anwendung zur Berechnung und Sicherheitsbewertung von Endlagern und Untertagegedenonien im Steinsalz.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Start-Workshop
- AP2: Planung und Durchführung des untertägigen Bohr- und Messprogramms sowie der Laboruntersuchungen
- AP3: Vorbereitung der Modellrechnungen einschließlich Bestimmung von salztypspezifischen Kennwerten für die Stoffgesetzparameter
- AP4: 3D-Modellrechnungen mit FEM/FDM
- AP5: Erstellung von Einzelberichten durch die Projektpartner
- AP6: Vergleich der Stoffgesetze, Verfahrensweisen und Ergebnisse der Modellrechnungen, Ausarbeitung von Empfehlungen
- AP7: Durchführung weiterer Workshops und Treffen der Projektpartner
- AP8: Durchführung eines Ergebnis-Workshops
- AP9: Schriftliche Dokumentation der Projekt-Ergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Der Start-Workshop wurde im August 2007 durchgeführt.
- AP2: Das Bohrkernmaterial für die vom Projektpartner TU Clausthal durchzuführenden Laboruntersuchungen wurden im Rahmen des 3. Workshops im April 2008 vom Projektpartner IfG Leipzig übergeben. Die geplanten Festigkeitsversuche wurden inzwischen größtenteils durchgeführt, längerfristige Laborversuche werden derzeit noch durchgeführt.
- AP3: Die Erstellung eines 3D-Berechnungsmodell des abzubildenden Untertagebauwerks wurde im ersten Berichtszeitraum durchgeführt. Einige Laborversuche wurden zur Bestimmung von salztypspezifischen Kennwerten nachgerechnet.
- AP4: Mit 3D-Berechnungen zum Test des Modells wurde begonnen. Das Berechnungsmodell ist für die geplante Simulation im vorgesehenen Zeitrahmen allerdings viel zu groß. Durch Modifikationen in der Diskretisierung kann die Berechnung beschleunigt werden. Die Stabilität der numerischen Berechnung muss hierbei allerdings auch betrachtet werden. Für ausführliche Berechnungen fehlen noch wesentliche Stoffmodellparameter, die aus den noch durchzuführenden Laboruntersuchungen abgeleitet werden sollen (Kriechigenschaften, Festigkeitseigenschaften, Schädigungsverhalten).
- AP5: Keine.
- AP6: Keine.
- AP7: Der 2. Workshop wurde im Dezember 2007 durchgeführt.
Der 3. Workshop wurde im April 2008 durchgeführt. Es wurden erste Berechnungsergebnisse zum 3D-Berechnungsmodell des abzubildenden Untertagebauwerks vorgestellt. Des Weiteren wurde eine Befahrung der Grube Angersdorf durchgeführt.
- AP8: Keine.
- AP9: Keine.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Der Start-Workshop ist abgeschlossen.
- AP2: Weiterführung des geplanten untertägigen Bohr- und Messprogramms sowie der geplanten Laboruntersuchungen.
- AP3: Kennwertermittlung aus den im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Laboruntersuchungen und Nachrechnung einiger Laborversuche.
- AP4: Verbesserung des 3D-Berechnungsmodells und 3D-Modellrechnungen unter Verwendung der ermittelten Materialkennwerte.
- AP5: Erstellung des Einzelberichts.
- AP6: Vergleich der Stoffmodelle, Verfahrensweisen und Ergebnisse der Modellrechnungen sowie Ausarbeitung von Empfehlungen.
- AP7: Durchführung weiterer Workshops und Treffen der Projektpartner zur Darstellung und Diskussion wichtiger Zwischenergebnisse.
- AP8: Durchführung eines Ergebnis-Workshops.
- AP9: Erstellung eines Abschlussberichts und einer Veröffentlichung.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

2.3 W-Vorhaben

Zuwendungsempfänger: FZ-Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich		Förderkennzeichen: 02 W 6243
Vorhabensbezeichnung: Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Kernmaterialüberwachung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2003 bis 30.04.2009	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.047.262,00 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 BMWi, 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 BMWi, Euratom und IAEO.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Fernerkundung: Erweiterung der Methode zur automatischen radiometrischen Normierung von multitemporalen Satellitendaten; Anwendung von Kern-Methoden zur nichtlinearen Änderungsdetektion; Vorbereitung einer Buchveröffentlichung: „International Safeguards and Satellite Imagery“.
- Geologische Endlagerung: Mitarbeit in der Safeguards-Expertengruppe der IAEO.
- Standortlager: Mit IAEO, Euratom und Betreibern Diskussion der geplanten Safeguards-Techniken für die Standortlagerung abgebrannter Brennelemente.
- Datenfernübertragung: Fortsetzung der Diskussion des von Euratom vorgeschlagenen technischen Ansatzes in Abstimmung mit den Betreibern und BMWi.
- ESARDA: Leitung der und Mitarbeit in den Arbeitsgruppen „Containment and Surveillance“, „Verification Technologies and Methodologies“ sowie „Integrated Safeguards“, Entwicklung einer Bewertungsmethode für Containment and Surveillance-Techniken, Seminar über Umweltbeobachtung im Rahmen der ESARDA-Tagung; Mitarbeit in Steering Committee und Editorial Committee; Diskussion und Bewertung von Unannounced Inspections; Planung und Vorbereitung einer ESARDA/INMM-Konferenz zu neuen Safeguards.
- Proliferationsresistenz: Strukturierung und Vorbereitung einer Veröffentlichung.
- Unattended Systems: Prototyp-Entwicklung für das IAEA Next Generation Surveillance System (NGSS), dazu Projektsitzung und Telefonkonferenzen; Digital Unattended Multi-channel Analyzer (DIUM).
- Zusatzprotokoll und Implementierung von Safeguards gemäß Euratom-Vertrag: Seminar zur Unterstützung von BMWi und Betreibern bei ihren Deklarationspflichten und bei der Umsetzung der Euratom-Verordnung 302/2005, Dokumentation der Deklarationen, Bewertung von Safeguards in Europa, Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien (z. B. Atomic Questions Group), Evaluierung früherer deutscher Nuklearaktivitäten für „Broader Conclusion“ und „State-level Approach“ der IAEO.
- IAEO-Inspektionsberichte: Elektronische Erfassung und Auswertung.
- Inspektionsplanung und -bewertung: Aufbereitung von mathematischen Analysen in verständlicher Formulierung zwecks Präsentation bei der IAEO und Diskussion mit Inspektionsplanern und Inspektoren anhand von Fallbeispielen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Fortführung laufender Arbeiten in den ESARDA-Gremien
- Proliferationsresistenz
- Unterstützung des BMWi bei Implementierung des Zusatzprotokolls zur Erreichung des „Integrated Safeguards“-Status für Deutschland
- zukünftige Safeguardstechniken und -strategien
- Dokumentation abgeschlossener Arbeiten

5. Berichte, Veröffentlichungen

S. NUSSBAUM, G. MENZ; “Object-based Image Analysis and Treaty Verification”, Springer Science+Business Media B.V., ISBN: 978-1-4020-6960-4, e-ISBN: 978-1-4020-6961-1, 2008.

M.J. CANTY, A.A. NIELSEN; “Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation”, Remote Sensing of Environment 2008, 112(3), 1025-1036.

2.4 BMWi-Hausvorhaben

Zuwendungsempfänger: Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: KWA 9003
Vorhabensbezeichnung: Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine		
Zuordnung zum FuE-Programm: Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen: Endlagerkonzepte und Endlagerteilbereiche		
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2008 bis 31.12.2010	Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 30.06.2008	
Gesamtkosten des Vorhabens: 935.030,00 EUR	Projektleiter: Dr. Hemberle	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Entsorgungskonzept der Bundesregierung sieht die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen vor. Von 2007 bis 2010 werden mit höchster Priorität FuE-Arbeiten zu offenen Fragestellungen der Endlagerung im Steinsalz durchgeführt. Parallel dazu soll der wissenschaftlich-technische Kenntnisstand zur Endlagerung Wärme entwickelnder Abfälle in Tonsteinen auf einen möglichst hohen Stand gebracht werden. Fragestellungen zur Endlagerung in kristallinen Gesteinen werden ergänzend bearbeitet, der Schwerpunkt sind Untersuchungen zu Engineered Barrier Systems.

Der überwiegende Teil dieser Untersuchungen wird im Rahmen internationaler Projekte in Untertagelabors in Schweden, der Schweiz und Frankreich durchgeführt. Ferner soll die Erweiterung des Kenntnisstands zu Endlagersystemen in alternativen Wirtsgesteinen durch die Unterstützung von Kooperationen mit Russland und der VR China auf Basis bzw. in Anlehnung an bestehende WTZ-Abkommen erfolgen.

Das Vorhaben hat die Koordinierung und Intensivierung der Arbeiten deutscher Wissenschaftler in den auf die "alternativen Wirtsgesteine" Ton/Tonstein und Granit ausgerichteten internationalen Forschungsprogrammen zum Ziel.

Die von BMWi geförderten Vorhaben 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 Felslabor Grimsel und im HRL Äspö

(Vorhaben 02E9743, 02E9945, 02E9985, 02E10096, 02E10106, FZK/INE, BGR)

FuE-Arbeiten zu Tonstein in den Untertagelabors Mt. Terri, Tournemire und Bure

(Vorhaben 02E9894, 02E10045, 02E10116, 02E10226, 02E10377, 02E10427, FZK/INE, BGR)

Schwerpunkte der Arbeiten sind In-situ- und Labor-Untersuchungen und Entwicklung numerischer Modelle sowie Untersuchungen zu geomechanischen Fragestellungen, Migration,

Transport und Rückhaltung von kolloidalen und gelösten Radionuklidspezies in den technischen und natürlichen Barrieren.

Für die Bestimmung der Feuchtigkeitsausbreitung und die Charakterisierung des Gebirges in der Umgebung untertägiger Hohlräume werden experimentelle Methoden weiterentwickelt und erprobt.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Vorhaben sind eingebunden in internationale Projekte und werden zum Teil von der Europäischen Kommission im Rahmen des FP6 kofinanziert. Innerhalb der Vorhaben wurden Arbeiten mit Bezug zu folgenden Projekten ausgeführt:

Hartgestein/Granit

Felslabor Grimsel (NF-PRO (FEBEX); HRL Äspö (Projekte: Prototype Repository, Task Force EBS, Temperature Buffer Test, Microbe, LASGIT)

- Weiterentwicklung der Methoden zur Messung des Aufsättigungsverhaltens des technischen Barriere-Systems, des Porenwasserdrucks und der Temperaturen im Endlager-Nahbereich mit Hilfe geoelektrischer und faseroptischer Sensoren sowie quantitative Bestimmung der jeweiligen Parameter
- In-situ- und Labor-Untersuchungen zum Transport und zur Ausbreitung von Aktiniden im Gebirge, auch unter dem Einfluss von Kolloiden und Mikroben
- Numerische Modellierung und Laboruntersuchungen zum Aufsättigungsverhalten des Versatzmaterials

Tonstein

Bure (Teilnahme am Versuchsprogramm der ANDRA), Mont Terri (Heater Experiment, Ventilations-Test, SB-Experiment), Tournemire

- Ermittlung relevanter, zur Beschreibung des Materialverhaltens erforderlicher Gesteinsparameter
- Entwicklung von Modellen zur Simulation von gekoppelten THM-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

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









Das Vorhaben setzt die Aktivitäten im zwischenzeitlich beendeten Vorhaben mit dem Förderkennzeichen KWA 2003 fort.

5. Berichte, Veröffentlichungen


Siehe Berichte zu den einzelnen Vorhaben in Kapitel 2.1.

3 Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen



- | | | |
|---|---|-----|
| Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fahrenbergplatz, 79098 Freiburg | | |
| 02 E 10306 | Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Entwicklung effizienter Diskretisierungsverfahren für die zu entwickelnden numerischen Verfahren zur Datenanalyse | 96 |
| Bauhaus-Universität Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8, 99423 Weimar | | |
| 02 C 1104 | Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme | 154 |
| 02 E 10437 | Hydraulische Permeabilität von Moderat bis hochverdichteten expansiven Tonen | 122 |
| Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal | | |
| 02 C 1084 | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems | 150 |
| Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Konrad-Wachsmann-Allee 1, 03046 Cottbus | | |
| 02 C 1466 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 1 (BTU): Hydrologie und Geochemie des Gesamtsystems | 212 |
| Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover | | |
| 02 C 1074 | Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten | 148 |
| 02 C 1476 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 2 (BGR): Geophysikalische Untersuchungen, Seismische Erkundung, Geologisches 3D-Modell, Bohrungen, Server-Datenbank, Koordination des Gesamtvorhabens | 214 |
| DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine | | |
| 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 | 16 |
| 02 E 9854 | Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL, Phase 1) | 22 |
| 02 E 9965 | Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA | 32 |

- 02 E 10065** Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW - Kurztitel: ISIBEL  50
- 02 E 10086** Untersuchungen zur Auswirkung einer Temperaturerhöhung in Tonformationen in Deutschland im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit eines Endlagers und irreversible Veränderungen der potenziellen Wirtsfornation -TemTon-  54
- 02 E 10246** Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)  86
- 02 E 10286** Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tongestein (ERATO)  92
- 02 E 10346** Entwicklung und Umsetzung von technischen Konzepten für tiefe geologische Endlager in allen Wirtsgesteinen (EUGENIA)  104
- 02 E 10407** Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX  116
- 02 E 10487** Restporosität und -permeabilität von kompaktiertem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager, Kurztitel: Repoperm  132
- 02 E 10508** Machbarkeitsstudie zur Vorbereitung eines 2-Bohrloch-Erhiterversuches im URL Mont Terri, Schweiz „MACH-2“  136


DHI-WASY GmbH, Waltersdorfer Str. 105, 12526 Berlin
--

- 02 C 1516** Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 6 (WASY): Strömungs- und Transportmodellierung  222


DMT GmbH, Am Technologiepark 1, 45307 Essen
--

- 02 C 1094** Verbundvorhaben „Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens“, Teilvorhaben: Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassung  152
- 02 C 1154** Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)  164



Dr. Andreas Hampel, Pfarrer-Heberer-Str. 34, 55411 Bingen
--

- 02 C 1577** Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 1  232



Dr. Veerhoff & Scherschel GbR erd_sicht, Staffelgasse 15, 53347 Alfter

- 02 C 1174** Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-EnviCon)  168





Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstraße 7, 72074 Tübingen

- 02 C 1114 Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme  156
- 02 C 1295 Kopplung Numerischer Modelle für C:HM - Transportprozesse, Teilprojekt Uni Tübingen: Validierung Numerischer Modelle für geochemische Prozesse in geotechnischen Dichteelementen  186






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

- 02 E 10357 Wechselwirkung mobilisierter Radionuklide mit sekundären Phasen in endlagerrelevanten Formationswässern  106
- 02 W 6243 Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen  244

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe

- 02 C 1597 Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 3  236
- 02 E 10096 Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado  56
- 02 E 10126 Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZ Karlsruhe  62
- 02 E 10206 Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Einfluss von tonorganischen Substanzen auf die Rückhaltung von Actiniden in der Tonbarriere  78

Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V. (FZD), Bautzner Landstraße 128 (B6), 01328 Dresden

- 02 C 1144 Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-FZD)  162
- 02 C 1436 Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZD  206
- 02 E 9985 Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall  36
- 02 E 10136 Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben FZD  64
- 02 E 10156 Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton  68

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

- | | | |
|-----------|--|-------|
| 02 C 1184 | Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar | 📖 170 |
| 02 C 1325 | Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Sonarverfahren | 📖 192 |














Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena

- | | | |
|------------|--|------|
| 02 E 10316 | Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Skalierung von halinen und thermohalinen Strömungen | 📖 98 |
|------------|--|------|


Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mit beschränkter Haftung, Schwertnergasse 1, 50667 Köln
--

- | | | |
|------------|---|-------|
| 02 C 0993 | Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30 °C und 90 °C | 📖 144 |
| 02 C 1164 | Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS) | 📖 166 |
| 02 C 1244 | Prognose der Redoxeeigenschaften natürlicher wässriger Lösungen | 📖 176 |
| 02 C 1254 | Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD | 📖 178 |
| 02 C 1285 | Kopplung Numerischer Modelle für C:HM - Transportprozesse, Teilprojekt GRS | 📖 184 |
| 02 C 1426 | Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS | 📖 204 |
| 02 E 9783 | Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen | 📖 18 |
| 02 E 9894 | Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager – SB-Experiment im Mt. Terri Untertagelabor – Hauptprojekt | 📖 24 |
| 02 E 9934 | Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST) | 📖 26 |
| 02 E 9944 | Goelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“ – Phase 2 | 📖 28 |
| 02 E 9954 | Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager | 📖 30 |
| 02 E 9975 | Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barriersystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA | 📖 34 |
| 02 E 9995 | Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz – FUNMIG-RTDC-5 | 📖 38 |
| 02 E 10045 | Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertagelabor Bure | 📖 46 |
| 02 E 10055 | Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW – Kurztitel | 📖 48 |


tel:
ISIBEL

- 02 E 10075 Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lösungen bei Temperaturen bis 90 °C – Kurztitel: FeT90  52
- 02 E 10106 Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kollorado  58
- 02 E 10116 Barriereintegrität des einschlusswirksamen Deckgebirges in Tonformationen (BET)  60
- 02 E 10146 Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben GRS  66
- 02 E 10226 Gasmigration im Opalinus Ton in Abhängigkeit vom Gasinjektionsdruck (unterhalb des Fracdruckles) Kurztitel: HG-C  82
- 02 E 10236 Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)  84
- 02 E 10276 Weiterentwicklung sicherheitsanalytischer Methoden zur Vorbereitung eines Safety Case in Deutschland -WESAM-  90
- 02 E 10336 Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d³f und r³t  102
- 02 E 10367 Anpassung des EMOS-Programmsystems an moderne Softwareanforderungen  108
- 02 E 10377 Untersuchung der THM-Prozesse im Nahfeld von Endlagern in Tonformationen  110
- 02 E 10387 Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX  112
- 02 E 10477 Restporosität und -permeabilität von kompaktiertem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager, Kurztitel: Repoperm  130
- 02 E 10498 Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz (Vorprojekt) – Kurztitel: VIRTUS  134



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

- 02 C 1204 Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit); Teil 2: Erprobung von Funktionselementen in situ  174


IBeWA Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser- und Deponietechnik Wilsnack & Partner, Lessingstr. 46, 09599 Freiberg

- 02 E 10447 Zerstörungsfreie In-situ-Permeabilität  124


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

- 02 C 1264 Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss  180
- 02 C 1587 Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorha-  234


ben 2


- 02 E 10256 Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung eines THM-Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz (MOLDAU)  88


IHU Geologie und Analytik Gesellschaft für Ingenieur- Hydro- und Umwelttechnologie mbH, Dr.-Kurt-Schumacher-Str. 23, 39576 Stendal

- 02 C 1506 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 5 (IHU): Erfassung, Bewertung und Darstellung der Strukturgeologie und Hydrochemie  220


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


- 02 C 1315 Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertesystem zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen  190


- 02 C 1546 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 9 (GGA-S1): Deckgebirgseigenschaften über einem bergbaubedingt destabilisiertem Untergrund, abgeleitet aus seismischen Beobachtungen  228

- 02 C 1556 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 10 (GGA-S3): Isotopenhydrologische Untersuchungen  230

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

- 02 C 1456 Bestimmung der Änderung des räumlichen und zeitlichen Ausbreitungsverhaltens von chemotoxischen Schwermetallen nach Wechselwirkung mit Natural Organic Matter (NOM) in geologischen Formationen von Untertagedeponien  210



- 02 C 1536 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 8 (IIF): Tomographische Radiotraceruntersuchungen und Fluoreszenztraceruntersuchungen  226

- 02 E 10176 Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Beiträge zur Modellierung des Actinidentransports in potentiellen Wirtsgesteinsformationen; Teilthema 1: Mobilitätsbestimmende Elementarprozess; Teilthema 2: Einfluss heterogener Strukturen auf den Lösungs-Kolloidtransport  72



Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Forschungsgelände, 85748 Garching

- 02 E 10467 Beschreibung des reaktiven Stofftransports in einem salinaren Endlager mit dem Code TOUGHREACT  128



Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Saarstraße 21, 55122 Mainz

- 02 C 1526 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 7 (JoGU): Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität  224
- 02 E 10166 Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit natürlichem Tongestein  70


K-UTEC AG Salt Technologies, Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen

- 02 C 1395 Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 1  198
- 02 C 1496 Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 4 (K-UTEC): Grundlagen für Geomodellierung  218



Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover

- 02 C 1607 Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 4  238
- 02 E 10025 Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung  42


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

- 02 C 1064 Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauwerken  146


Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Merzhauser Straße 173, 79100 Freiburg

- 02 E 9793 Handbuch der Endlagerung – Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen  20
- 02 E 10397 Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX  114


Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Wassertechnologie und Entsorgung, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

- KWA 9003 Unterstützungsprogramm Alternative Wirtsgesteine  248

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Regina-Pacis-Weg 3, 53113 Bonn

- 02 E 10296 Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Visualisierung und Datenanalyse  94

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

- 02 E 10326 Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d^3f und r^3t - Modellierung des Wärmetransports und Modellierung freier Oberflächen  100

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg

- | | | |
|------------|---|-------|
| 02 C 1124 | Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke | 📖 158 |
| 02 C 1446 | Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis - Teilvorhaben TU BAF | 📖 208 |
| 02 E 10457 | Untersuchungen und modelltechnische Beschreibung heterogener Strukturen aus Bindemittel und Zuschlag | 📖 126 |


Technische Universität Clausthal, Adolph-Römer-Straße 2A, 38678 Clausthal-Zellerfeld

- | | | |
|------------|--|-------|
| 02 C 0952 | Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge | 📖 142 |
| 02 C 1134 | Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Untertage-Deponien und Endlagern | 📖 160 |
| 02 C 1275 | Kopplung Numerischer Modelle für C:HM – Transportprozesse, Teilprojekt TUC: Gekoppelte Modellierung des C:HM Verhaltens von selbstverheilendem Salzversatz | 📖 182 |
| 02 C 1355 | Weiterentwicklung der EDV-Software INFIL zur Simulation des druckbetriebenen Infiltrationsprozesses von Fluiden in ein nicht permeables Barrieren-Gebirge (Salinar) | 📖 196 |
| 02 C 1405 | Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 2 | 📖 200 |
| 02 C 1415 | Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar – Teilprojekt 3 | 📖 202 |
| 02 C 1486 | Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; Teilvorhaben 3 (TUC): Geomechanische Modellierung | 📖 216 |
| 02 C 1617 | Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz; Teilvorhaben 5 | 📖 240 |
| 02 E 10025 | Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung | 📖 42 |
| 02 E 10427 | Untersuchungen zur Validierung von Modellansätzen für Tongestein anhand von Feldexperimenten am Standort Tournemire (F) im Rahmen DECOVALEX-THMC | 📖 120 |


Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt
--

- | | | |
|------------|---|------|
| 02 E 10015 | Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein | 📖 40 |
|------------|---|------|



Technische Universität Dresden, Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden
--

- 02 E 10417 Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit der Komplexbildung und Sorption dreiwertiger Actinide Am(III), Pu(III) im System Actinid-NOM-natürliches Tongestein-Aquifer  118


Technische Universität Ilmenau, Ehrenbergstraße 29, 98693 Ilmenau
--

- 02 C 1194 Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchstfrequenz-Radar  172


Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München
--

- 02 E 10035 Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden  44
- 02 E 10186 Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Quantenmechanische Modellierung von Aktinoidenkomplexen: Komplexierung durch Huminstoffe und Sorption an Tonmineralien  74


Universität des Saarlandes, Campus Saarbrücken, 66123 Saarbrücken
--

- 02 E 10196 Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Untersuchungen zur Migration von Lanthaniden und Uran in natürlichen Tonformationen im Übergang von verdünnten Mineral-Suspensionen zu kompakten Tonen  76


Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

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

Universität Leipzig, Ritterstraße 26, 04109 Leipzig
--

- 02 C 1305 Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertesystem zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar – Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung  188

Universität Potsdam, Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam

- 02 E 10216 Verbundvorhaben Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Spektroskopische Untersuchungen zum erweiterten Prozessverständnis in binären und ternären Huminstoff-Tongestein - Lanthanoid Systemen: Thermodynamische und kinetische Kenngrößen  80