

Geschäftsstelle

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

**Beratungsunterlage zu TOP 7
der 4. Sitzung
Projektförderung des BMWi**

<p>Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. 19</p>
--



Frau Ursula Heinen-Esser
Herrn Michael Müller
Vorsitzende der Kommission
„Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“
c/o Geschäftsstelle GSt StandAG
Deutscher Bundestag
Platz der Republik 1
11011 Berlin

Sigmar Gabriel MdB

Bundesminister

HAUSANSCHRIFT Scharnhorststraße 34 - 37, 10115 Berlin
POSTANSCHRIFT 11019 Berlin

TEL +49 (0)3018 615-76 00 od. (0)30 2014-76 00
FAX +49 (0)3018 615-70 30 od. (0)30 2014-70 30
E-MAIL info@bmwi.bund.de

DATUM Berlin, September 2014

Sehr geehrte Frau Heinen-Esser,
sehr geehrter Herr Müller,

gerne komme ich Ihrer in der letzten Sitzung der Endlagerkommission am 8. September 2014 geäußerten Bitte nach, über die Projektförderung des Bundeswirtschaftsministeriums auf dem Gebiet der nuklearen Entsorgungsforschung zu informieren.

Anliegend finden Sie das aktuelle Förderkonzept (2011 bis 2014) sowie eine kurze Erläuterung zu den derzeit laufenden Arbeiten am Entwurf des neuen Förderkonzeptes für die Jahre 2015 bis 2018.

Für die Arbeit der Kommission wünsche ich weiterhin viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüßen



PTKA
Projektträger Karlsruhe

Karlsruher Institut für Technologie



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie**

Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2011 – 2014)

herausgegeben vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
Referat III B 3

und

Projektträger Karlsruhe
Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)
Karlsruher Institut für Technologie

Juli 2012

Das vorliegende Förderkonzept ist Grundlage für die förderpolitischen Aktivitäten des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), die im Rahmen der anwendungsorientierten Grundlagenforschung zur Endlagerung Wärme entwickelnder, radioaktiver Abfälle erfolgen.

Dieses Förderkonzept ist auch die Basis für Beratungen durch Sachverständige und dient ferner dazu, Forschungsstellen zu informieren, die an der Bearbeitung von FuE-Themen mitwirken wollen.

Das Förderkonzept 2011 – 2014 ist eine Aktualisierung und partielle Fortschreibung der früheren Förderkonzepte:

- „Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen (1997 – 2001)“, gemeinsam vom BMBF, Referat 414 und dem Projektträger Entsorgung im April 1998 herausgegeben,
- „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2002 – 2006)“, gemeinsam vom BMWi, Referat III B 3, und dem Projektträger Karlsruhe - Wassertechnologie und Entsorgung im November 2001 herausgegeben,
- „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2007 – 2010)“, gemeinsam vom BMWi, Referat III B 3, und dem Projektträger Karlsruhe - Wassertechnologie und Entsorgung im Dezember 2007 herausgegeben.

Im Falle einer Änderung des allgemeinen politischen bzw. gesetzlichen Rahmens der Entsorgung radioaktiver Abfälle ist eine nochmalige Aktualisierung des vorliegenden Förderkonzeptes in den Jahren 2012 und 2013 derzeit nicht auszuschließen.

Druck und Verbreitung:
Projektträger Karlsruhe
Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)
Karlsruher Institut für Technologie
Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkung.....	1
2. Einleitung	2
3. FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Steinsalz.....	3
3.1. Bisherige Arbeiten und Kenntnisstand.....	4
3.2. Laufende Arbeiten	13
4. FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Tonstein.....	19
4.1. Bisherige Arbeiten und Kenntnisstand.....	19
4.2. Laufende Arbeiten	22
5. FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Granit (kristalline Gesteine)	24
5.1. Bisherige Arbeiten und Kenntnisstand.....	24
5.2. Laufende Arbeiten	26
6. FuE-Schwerpunkte und FuE-Themen.....	28
6.1. Endlagersystem.....	30
6.2. Systemverhalten und Systembeschreibung.....	31
6.3. Querschnittsthemen mit Bezug zur Endlagerung	32
6.4. Kernmaterialüberwachung.....	33
7. Literatur und Referenzen.....	34
Anhang	
A1 Verzeichnis verwendeter Abkürzungen	38
A2 Verzeichnis laufender Forschungsvorhaben (Projektförderung)	39
A3 Verzeichnis abgeschlossener Forschungsvorhaben (Projekt- förderung)	46
A4 Verzeichnis laufender Forschungsvorhaben (Projekt- förderung) zur untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle	70
A5 Verzeichnis abgeschlossener Vorhaben (Projektförderung) zur untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle	72

1. Vorbemerkung

Das vorliegende Förderkonzept ist die Basis für die Förderung der anwendungsbezogenen Grundlagenforschung des Bundes auf dem Gebiet der Endlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle. Damit wird das im Dezember 2007 veröffentlichte Förderkonzept zur Endlagerung radioaktiver Abfälle aktualisiert und fortgeschrieben. Das Förderkonzept ist mit den in Deutschland maßgeblich auf diesem Gebiet arbeitenden Institutionen abgestimmt. Die Ergebnisse der langjährigen nationalen und internationalen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle sowie institutionell finanzierte FuE-Aktivitäten sind daher weitestgehend berücksichtigt und werden in den Themen gespiegelt.

Anwendungsbezogene Grundlagenforschung im Sinne dieses Förderkonzepts ist „... Grundlagenforschung, die ausgeführt wird mit der Erwartung, dass sie langfristig eine breite Wissensgrundlage schafft, die als Ausgangsbasis für die Lösung erkannter oder erwarteter, bestehender oder künftiger Probleme oder Entwicklungen dient“ (in Anlehnung an das Frascati-Handbuch der OECD, vgl. BMWi-Vordruck 0102/03.07_3).

Ziele dieser anwendungsbezogenen Grundlagenforschung des Bundes sind:

- die Bereitstellung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen zur Realisierung eines Endlagers für Wärme entwickelnde, radioaktive Abfälle und abgebrannten Kernbrennstoff
- die ständige Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik zur Endlagerung sowie
- ein substantieller Beitrag zu Aufbau, Weiterentwicklung und Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz im Bereich der nuklearen Entsorgung in Deutschland.

Die aus den bisherigen FuE-Arbeiten gewonnenen Erkenntnisse bestätigen, dass eine Realisierung von Endlagern für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle im Wirtsgestein Steinsalz möglich ist. Insbesondere untermauern sie die Umsetzbarkeit der wissenschaftlich-technischen Ergebnisse in einem konkreten Projekt.

Die künftigen Forschungsarbeiten sollen wirtsgesteinsübergreifend im Hinblick auf die hohe Bedeutung der Endlagersicherheit insbesondere dazu beitragen

- die Aussagesicherheit von Analysen zu verbessern,
- die Genauigkeit der dazu benötigten Parameter zu erhöhen,
- Einzelfragestellungen zu behandeln mit dem Ziel, eine höhere Robustheit des Gesamtsystems zu erreichen,
- die Ergebnisse der rechnerischen Simulation komplexer Systeme anhand von Labor- und Feldversuchen sowie Demonstrationsvorhaben zu bewerten,
- das Vorgehen bei der Erstellung des Safety Case auf Plausibilität und Systematik zu prüfen und ständig weiter zu entwickeln,
- den Stand der Wissenschaft praktisch anwendbar zu machen.

Die anwendungsbezogene Grundlagenforschung konzentriert sich daher im Hinblick auf eine zügige und zielstrebige Lösung der Frage der Endlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle auf die folgenden Schwerpunkte:

- die Entwicklung von Sicherheitsnachweiskonzepten und die Schaffung der notwendigen Grundlagen für Systemanalysen.
- die Überführung der für die Errichtung, den Betrieb und den langzeitsicheren Verschluss eines Endlagers notwendigen wissenschaftlichen Ansätze und technischen Lösungen in den Stand der Technik.
- die Förderung und Weiterentwicklung wissenschaftlich-technischer Kompetenz auf hohem Niveau.

2. Einleitung

In der ersten Phase des Förderkonzeptes zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen (1997 bis 2001) wurden FuE-Vorhaben zur Endlagerung im Wirtsgestein Steinsalz mit höchster Priorität realisiert. Daneben wurden mit geringerer Priorität orientierende Untersuchungen zur Endlagerung in den Wirtsgesteinen Ton bzw. Tonstein und in kristallinen Gesteinen durchgeführt.

Als eine Folge der Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Kernkraftwerke betreibenden Unternehmen im Jahr 2000 wurde die Priorität von FuE-Vorhaben zur Endlagerung in alternativen, nichtsalinaren Wirtsgesteinen in der Phase 2002 bis 2006 erhöht. Etwa die Hälfte der Vorhaben und der eingesetzten Mittel hatten Bezug zu Endlagersystemen in Tongestein. Arbeiten zur Endlagerung in Steinsalz, zu kristallinen Gesteinen und zu übergreifenden Themen, z. B. mit Bezug zur Sicherheitsanalyse, machten zu jeweils etwa gleicher Zahl und mit gleichem Finanzumfang die andere Hälfte aus.

In der Phase von 2011 bis 2014 sollen FuE-Arbeiten zu noch nicht abgeschlossenen Fragestellungen der Endlagerung im Steinsalz durchgeführt werden. Parallel zu diesen Arbeiten soll der wissenschaftlich-technische Kenntnisstand zur Endlagerung Wärme entwickelnder Abfälle in Tongesteinen auf einen möglichst hohen Stand gebracht werden. Fragestellungen zur Endlagerung in kristallinen Gesteinen haben geringe Priorität, da geeignete Standortregionen in Deutschland im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen bisher nicht nachgewiesen werden konnten.

Ein Schlüsselmerkmal erfolgreicher FuE-Aktivitäten ist, so der weltweite Konsens, die internationale Kooperation. Dieser Informations- und Erfahrungsaustausch kann zur Evaluierung des Wissensfortschritts herangezogen werden und bietet den Vorteil, unterschiedliche wissenschaftlich-technische Methoden und Ansätze zu bewerten und zu vergleichen. Zudem führt das gemeinsame Bearbeiten von Fragen und Problemen zu wissenschaftlich-technischen und finanziellen Synergien mit gegenseitigem Nutzen für die Beteiligten. Ein wichtiger Aspekt ist ferner zu verdeutlichen, dass die Thematik der Entsorgung und Endlagerung zwar als nationale Aufgabe verstanden wird, aber unter Berücksichtigung des internationalen Wissensstandes in größerem Rahmen bearbeitet werden muss, um die neuesten Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung zu berücksichtigen.

Zwei in diesem Kontext zu nennende Aspekte haben Bezug zum Förderkonzept:

1. die FuE-Aktivitäten in ausländischen Untertagelaboratorien und
2. die zukünftigen Aktivitäten mit Bezug zur europäischen Technologieplattform „Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste“ (www.igdtp.eu).

Die Mitarbeit deutscher Forschungsstellen in europäischen Untertagelaboratorien (Tonstein / Kristallin) hat eine lange und erfolgreiche Tradition. Nach wie vor sind die Verbesserung des für die Sicherheitsbewertung von Endlagerkonzepten notwendigen Systemverständnisses (Wirtsgestein und Prozesse), der Anwendung von Rechenmodellen und die Entwicklung sowie der Test von technischem Equipment und Verfahren die zentralen Ziele. Die Arbeiten erfolgen dabei in ausgewählten Projekten, wobei der Schwerpunkt der Untersuchungen bei Arbeiten in Untertagelaboratorien liegt. In kristallinen Gesteinen (Granit) sollen zukünftig nur solche Fragestellungen bearbeitet werden, die für andere Wirtsgesteine ebenso relevant sind.

Im November 2009 wurde von SKB (Schweden), Posiva (Finnland), ANDRA (Frankreich) und BMWi die europäische Technologieplattform „Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste – Technology Platform“ (www.igdtp.eu) gegründet. Sie verfolgt die Grund-

idee, dass bis 2025 in Europa ein Endlager für hochaktive, Wärme entwickelnde und langlebige radioaktive Abfälle in Betrieb sein wird.

Ein wesentliches Produkt der IGD-TP ist die „Strategic Research Agenda“ (SRA), in der Wirtsgestein-übergreifend Schlüssel- und wichtige Querschnittsthemen formuliert sind. Diese Themen spielen in fast allen nationalen FuE-Programmen eine wichtige Rolle und finden sich zum großen Teil auch im vorliegenden Förderkonzept wieder. Sie stellen eine Basis für zukünftige FuE-Aktivitäten dar und definieren auch Randbedingungen für die Ausführung (z.B. bilaterale sowie multilaterale Kooperationen, Europäische Forschungsrahmenprogramme, nationale Ansätze, etc.).

Die Schlüsselthemen der IGD-TP sind:

- Safety Case,
- Abfallformen und ihr Verhalten,
- technische Machbarkeit und Langzeitverhalten von Endlagerkomponenten,
- Entwicklungsstrategie für das Endlager,
- Betriebssicherheit,
- Monitoring sowie
- Governance und Stakeholder-Beteiligung.

Nach wie vor implizieren und erfordern Ausrichtung und Zielsetzung des Förderkonzeptes ein verstärktes Engagement der Forscher und eine geeignete Ausstattung von Forschungseinrichtungen mit Ressourcen. Überdies ist es vor dem Hintergrund der in Deutschland dringend erforderlichen Nachwuchsförderung und des Kompetenzerhalts notwendig, der Hochschulforschung einen besonderen Stellenwert zuzuschreiben und der gezielten Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses dabei besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Die Ressorts BMBF und BMWi stimmen daher ihre Forschungsförderaktivitäten ab und bedienen sich des gleichen Projektträgers zur Betreuung und Koordinierung der FuE-Arbeiten. Die Projektförderung des BMWi und die im Jahr 2008 aufgenommene Nachwuchsförderung des BMBF zur Nuklearen Sicherheitsforschung ergänzen sich zudem in idealer Weise. Auf der Grundlage des Förderkonzeptes „Grundlagenforschung Energie 2020+“ werden von BMBF FuE-Vorhaben zur Entsorgungsforschung gefördert, die insbesondere der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und dem Kompetenzerhalt dienen. Die Vorhaben werden grundsätzlich mit laufenden oder in der Konzeption befindlichen Vorhaben des BMWi im Sinne eines „Training on the Job“ verknüpft, da auf diese Weise ein effizienter Wissenstransfer gewährleistet ist.

Aufgrund der sehr umfangreichen Kenntnisse kann in den Kapiteln 3.1, 4.1 und 5.1 lediglich ein allgemein gehaltener Überblick über die bisherigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den Wirtsgesteinen Steinsalz, Ton/Tonstein und Kristallin gegeben werden. Ausgewählte Referenzen und Hinweise auf Primärliteratur verweisen auf weiterführende Informationsquellen. Diese Arbeiten wurden im Verlauf der letzten nahezu zwei Jahrzehnte durch die Ressorts BMBF (vormals BMFT) und BMWi (zwischenzeitig BMWA) finanziert.

Auf laufende Arbeiten wird so weit wie möglich hingewiesen und aufgezeigt, welche Perspektiven sich hinsichtlich der geplanten Ziele ergeben.

In Kapitel 6 werden die FuE-Schwerpunkte und FuE-Themen beschrieben.

3. FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Steinsalz

Nach mehr als 40 Jahren institutioneller und projektgeförderter Forschung zur Endlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle im Wirtsgestein Steinsalz liegt ein hoher Kenntnisstand vor. Dieser wurde auf einem PTKA-WTE Workshop /PT 2008/ in Übersichtsvorträgen

dargestellt. Zudem wird seit Langem der Fortschritt in Forschung und Entwicklung bei regelmäßig stattfindenden Projektstatusgesprächen einem größeren Kreis von Wissenschaftlern sowie der interessierten Öffentlichkeit präsentiert.

An einigen Stellen wird auf Arbeiten zur Kernmaterialüberwachung und die seit 1988 durch BMBF geförderten Arbeiten zur untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle verwiesen, da sie engen thematisch/synergistischen Bezug zu den endlagerbezogenen FuE-Aktivitäten haben.

3.1. Bisherige Arbeiten und Kenntnisstand

Historie der wissenschaftlichen Weichenstellung für Steinsalz und Direkte Endlagerung

Salzformationen wurden aufgrund ihrer positiven Eigenschaften bereits 1957 in einem Bericht der Amerikanischen Akademie der Wissenschaften als geeignet für die Endlagerung radioaktiver Abfälle angesehen /NAS 1957/.

Auch in Deutschland wurde bereits 1963 im Zweiten Deutschen Atomprogramm eine Empfehlung für Steinsalz ausgesprochen. Ein Gutachten der Bundesanstalt für Bodenforschung, der Vorgängerorganisation der jetzigen Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), bestätigte die positiven Eigenschaften des Gesteins. Diese damals getroffenen Aussagen, dass Steinsalz als Wirtsgestein für die Endlagerung von Wärme entwickelnden Abfällen grundsätzlich geeignet ist, werden durch die langjährigen in FuE-Aktivitäten akkumulierten Kenntnisse bestätigt.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hat in einer zusammenfassenden Studie /Kockel et Krull 1995/ die Salzformationen in Deutschland untersucht. Im Ergebnis dieser Studie werden Kriterien für eine Vorauswahl untersuchungswürdiger Salzstrukturen dargestellt und es wird aus geowissenschaftlicher Sicht deren Eignung bewertet und beschrieben.

Für die Endlagerung wichtige und günstige stofflichen Eigenschaften von Steinsalz sind dessen plastisches Verhalten, das insbesondere bei der Endlagerung Wärme entwickelnder Abfälle zu einem raschen Verschließen von Rissen und Hohlräumen im Gebirge führt, die im Vergleich zu anderen Wirtsgesteinen hohe Wärmeleitfähigkeit und die nachgewiesene geringe Durchlässigkeit gegenüber Lösungen und Gasen unter natürlichen Lagerungsbedingungen (geogener, ungestörter Zustand). Überdies vorteilhaft sind die gebirgsmechanischen Eigenschaften von Steinsalz, die eine Herstellung großer Hohlräume ohne speziellen Ausbau ermöglichen. Im Übrigen kann in Deutschland auf umfangreiche, mehr als hundertjährige bergbauliche und bergtechnische Erfahrungen aus dem Gewinnungsbergbau - auch in großer Tiefe - zurückgegriffen werden kann.

In den 1980er Jahren wurde begonnen über Alternativen zur damals verfolgten Entsorgungsoption der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente mit anschließender Endlagerung des hochaktiven Abfalls (geschlossener Brennstoffkreislauf) nachzudenken. Im Rahmen einer Gegenüberstellung von offenem und geschlossenem Brennstoffkreislauf betrachtete man erstmals die Option der direkten Endlagerung von abgebrannten Brennelementen /Closs 1980/.

Ab 1985 wurde diese Option im Rahmen konkreter FuE-Aktivitäten untersucht. Wesentlicher Bestandteil dieser Aktivitäten, die 1995 beendet wurden, war das Forschungsprogramm „Direkte Endlagerung“. In dieser Entsorgungsoption ist die Streckenlagerung großer selbstabschirmender POLLUX-Behälter, die die abgebrannten Brennelemente enthalten, vorgesehen. Die Machbarkeit der Option sollte bis zur technischen Reife gezeigt werden. Das Programm bestand aus vier Teilprojekten: Konditionierung des Brennstoffs und Behälterentwicklung, Demonstrationsversuche, konzeptuelles Design von Endlagersystemen und Labortests /Kessler 1998/.

In Großversuchen wurden die Hauptkomponenten erprobt (Demonstrationsversuche „Handhabungs- und Schachttransporttechnik für große und schwere Lasten“, Demonstrationsversuch zum „Verhalten des Versatzes und des Wirtsgesteins bei der Streckenlagerung“). Im konzeptionellen Teil der Arbeiten wurden im Rahmen von Studien verschiedene Einlagerungsoptionen betrachtet, wie z. B. die gemeinsame Einlagerung von Wiederaufarbeitungsabfällen zusammen mit direkt endzulagernden Brennelementen und es wurden dazu sicherheitsanalytische Studien durchgeführt.

Die Technik der Direkten Endlagerung wurde auch für die abgebrannten Brennelemente aus den deutschen Hochtemperaturreaktoren entwickelt.

Bestandteil der Aktivitäten war auch die Entwicklung eines Safeguardskonzeptes für ein Endlager in Salzgestein mit abgebrannten Brennelementen in Übereinstimmung mit IAEA-Anforderungen.

Ferner wurde eine Studie durchgeführt, welche die Möglichkeit der Rückholbarkeit der POLLUX-Behälter untersuchen sollte. Es wurde gezeigt, dass es grundsätzlich möglich ist, die großen und schweren POLLUX-Behälter aus einem Endlager zurück zu holen, wenn auch verbunden mit hohem technischem und finanziellem Aufwand.

Die Thematik der Rückholbarkeit wurde erneut im Rahmen des BAMBUS II-Projektes für die Bohrlochlagerung untersucht und behandelt /Bechthold 2003 et al./.

Fazit: Das Programm „Direkte Endlagerung“ wurde erfolgreich durchgeführt und beendet. Das Ziel, die Machbarkeit und die grundsätzliche Genehmigungsfähigkeit der Systemkomponenten zu zeigen, konnte in allen Punkten erreicht werden.

Nach der Entscheidung, die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente im Ausland zu beenden, die in der AtG-Novelle vom 27. April 2002 festgeschrieben wurde, ist die Direkte Endlagerung in Deutschland nach geltendem Recht heute die einzige Entsorgungsoption für abgebrannte Brennelemente in Deutschland.

Kenntnisstand zur Endlagerung im Steinsalz

Zu dem bezüglich der Endlagerung im Steinsalz vorliegenden wissenschaftlichen und technischen Stand wurden in den letzten Jahren umfassende Dokumentationen erstellt.

Im Jahre 2009 veröffentlichten die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) und das Öko-Institut Darmstadt im Auftrag des BMWi das Übersichtswerk „Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland“ /Brasser et al. 2008/, in welchem der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik zur Endlagerung ausführlich dargelegt ist. Zudem hatte das Bundesamt für Strahlenschutz im Jahr 2005 den Synthesebericht einschließlich mehrerer Teilberichte zu konzeptionellen und sicherheitstechnischen Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle veröffentlicht. In diesen Berichten wurden 12 Einzelfragen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle im Steinsalz behandelt und der damalige Kenntnisstand dokumentiert /BfS 2005/.

Einlagerungstechnik

Eine Reihe von Untersuchungen, die die Entwicklung und Erprobung der Einlagerungstechnik zum Ziel hatten, wurden durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen.

Die Technik für die Einlagerung von hochaktiven verglasten Abfällen in Bohrlöchern wurde im Maßstab 1:1 entwickelt und für den Lastbereich bis zu 100 Tonnen erfolgreich erprobt. Diese umfasst Transportbehälter und die Schachttransporttechnik für die Förderung von hochradioaktiven Abfallbehältern nach unter Tage sowie Transportfahrzeuge, Grubenlok, Einlagerungsmaschine und Bohrlochabschirmung.

Ein weiteres Konzept besteht in der Einlagerung in tiefen Bohrlöchern. Da 300 bis 600 Meter tiefe Bohrlöcher mit Durchmessern von 600 mm und darüber nicht mit herkömmlichen Trockenbohrverfahren erstellt werden konnten, wurden so genannte Schleusenbohrköpfe mit

automatischer Richtungskorrektur und Ausbringung des Bohrkleins mittels Druckluft entwickelt und im ehemaligen Forschungsbergwerk Asse erfolgreich erprobt. Nach der erfolgreichen Erstellung von zwei rund 180 m tiefen Bohrschächten von 3,5 m Durchmesser steht weiterhin eine Technik zur Erstellung von Großbohrlöchern zur Verfügung /Kolditz 1993/.

Das deutsche Teilprojekt im beendeten EU-Projekt ESDRED (Engineering Studies and Demonstration of Repository Designs) hatte zum Ziel, die grundsätzliche Machbarkeit der Einlagerung von Brennstabkockillen mit unzerschnittenen bestrahlten Brennstäben in vertikalen Bohrlöchern nachzuweisen und großmaßstäblich zu demonstrieren.

Ein Konzept und die Technik dafür konnten im Rahmen des Vorhabens erfolgreich entwickelt und die Machbarkeit der Einlagerung sowohl für Brennstabkockillen als auch für Kockillen mit verglasten Abfällen aus der Wiederaufarbeitung gezeigt werden /Filbert et al. 2010/.

Kenntnisse zu den Eigenschaften des Wirtsgesteins Steinsalz sind nicht nur im Hinblick auf die konzeptionelle Gestaltung eines Endlagers im Kontext der Endlagertechnik erforderlich, sondern sie sind auch in Hinblick auf die Einschätzung der Barrierenintegrität des Wirtsgesteins (einschlusswirksamer Gebirgsbereich) und damit für die Sicherheit eines Endlagers wichtig.

Verhalten des Wirtsgesteins Steinsalz

Parallel zu den Arbeiten zur Einlagerungstechnik wurden grundlegende Kenntnisse über sicherheitsrelevante Eigenschaften und das Verhalten des Wirtsgesteins Steinsalz unter geogenen und unter Endlagerbedingungen in den vergangenen Jahrzehnten – auch im Rahmen der Förderkonzepte - ermittelt.

Beispielsweise konnten wichtige Erkenntnisse zu im Nahfeld ablaufenden Prozessen aus In-situ-Versuchen gewonnen werden. Im sogenannten Laugenmigrationstest wurde mit elektrischen Erhitzern und Cobalt-60-Quellen im damaligen Forschungsbergwerk Asse die von verglastem Abfall ausgehende Einwirkung von Wärme und Strahlung auf Steinsalz simuliert. Wesentliches Ergebnis war, dass nur eine geringe Freisetzung von Feuchte in das Bohrloch festgestellt wurde, so dass eine Korrosion von Einlagerungsbehältern für hochaktiven Abfall nicht zu besorgen ist. Zugleich wurde festgestellt, dass die Freisetzung von Kristallwasser aus Steinsalz erst oberhalb von 230°C erfolgt. Aus diesem Grund wurde für ein Endlager eine Auslegungstemperatur von maximal 200°C empfohlen, um Korrosionseffekte möglichst ausschließen zu können.

Überdies wurde in diesem Versuch eine nur geringe, auf die engere Umgebung beschränkte Veränderung der Kristallstruktur des Salzes durch Strahlung (z. B. Bildung von Farbzentren) unter den später im Endlager herrschenden Temperaturverhältnissen beobachtet /Rothfuchs et al. 1988/. Im Steinsalz schließen sich Hohlräume aufgrund der guten Kriecheigenschaften des Steinsalzes bei hohen Temperaturen sehr schnell.

Mineralogisch-petrographische und geochemische Untersuchungen sowie geochemische Modellierungen trugen dazu bei, den festen, flüssigen und gasförmigen Stoffbestand der geologischen Barriere Steinsalz aufzuklären. Diese Informationen dienten zur Interpretation sowohl der Genese von Evaporitkörpern, als auch der Prozesse, die im Laufe geologischer Zeiträume abgelaufen sind und zu beobachtbaren Veränderungen geführt haben. Diese eindeutig nachvollziehbaren Veränderungen erlauben es, Schlüsse auf die zukünftige Entwicklung zu ziehen.

Durch die Kombination verschiedener experimenteller Methoden zur Untersuchung von Lösungseinschlüssen, von in Salzschieben vorkommenden Gebirgslösungen sowie von Carnallit in Kaliflözen norddeutscher Salzstöcke und die Entwicklung und Anwendung von Modellen ist ein Instrumentarium entwickelt worden, das die Wirkung fluider Phasen in Salzformationen während der geologischen Vergangenheit zu beurteilen erlaubt. Es konnte damit gezeigt werden, dass die für die Endlagerung vorgesehenen Teile des Salzstocks Gorleben seit 250 Millionen Jahren gegenüber wässrigen Lösungen aus dem Deckgebirge und dem Nebengestein isoliert waren. Dies bedeutet, dass seit damals kein Fluidzutritt zu diesen Be-

reichen des Salzstocks stattgefunden hat. Das Salz hat somit nachweislich als natürliche, geologische Barriere gewirkt. Die Stabilität der geologischen Barriere Steinsalz wurde durch Untersuchungen des geogenen Gasinventars nochmals bestätigt /Mengel 2005/.

Auch die Kenntnisse zum mechanischen Verhalten der Salzformation, d. h. des Steinsalzes und der anderen darin vorkommenden Gesteine (z. B. Carnallit, Anhydrit, Salzton) sind für die Vorhersage des kurz- und langfristigen Verhaltens des Endlagers wichtig. Der Kenntnisstand hierüber ist in den zurückliegenden Jahren kontinuierlich vertieft worden.

Stoffgesetze für stationäres und transientes Kriechen sind auf der Grundlage physikalischer Vorgänge entwickelt worden. Die beobachteten Unterschiede im Kriechverhalten verschiedener Gesteinsproben lassen sich auf unterschiedliche chemisch-mineralogische Gegebenheiten zurückführen, wie z. B. Verunreinigungen, Feuchtegehalt etc.

Es konnte auch gezeigt werden, dass unter endlagerspezifischen Randbedingungen keine Beeinflussung des Kriechverhaltens durch die radioaktive Strahlung der Abfälle zu erwarten ist.

Der aktuelle Stand, die Möglichkeiten und Grenzen vorhandener, aktueller Steinsalzstoffgesetze wurden in einem vom BMBF geförderten und im Jahr 2006 abgeschlossenen Verbundvorhaben überprüft und bewertet /Hampel 2010/. In einer zweiten Phase, durch BMWi gefördert, erfolgen in Zusammenarbeit mit Sandia 3D-Modellrechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerkes.

Mit dem Verbundvorhaben BARIAN wurde das Barriereverhalten von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen eingehend und abschließend untersucht. Mit den Ergebnissen konnte ein wichtiger Beitrag zur sicherheitstechnischen Einschätzung des Anhydrits, ein wegen seiner mechanischen Eigenschaften nachteiliges Gestein, erbracht werden /Kamlot 2002/.

Geotechnisches Barriersystem

Umfassende Arbeiten zum Geotechnischen Barriersystem für ein Endlager im Steinsalz sind in den vergangenen Jahrzehnten realisiert worden. Aus dem großmaßstäblichen TSS-Versuch (Thermische Simulation der Streckenlagerung), als ein Teil des Unterprogramms Demonstrationsversuche im Programm Direkte Endlagerung geplant, wurden wichtige Erkenntnisse zum Verhalten sowohl des Versatzmaterials Salzgrus als auch zum Wirtsgestein Steinsalz gewonnen. Im Jahr 2004 wurde mit diesem Vorhaben, das auch im 5. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Kommission unter dem Akronym BAMBUS II (Backfill and Material Behaviour in Underground Salt Repositories) gefördert wurde, der letzte großmaßstäbliche In-situ-Versuch aus einer Reihe von In-situ-Untersuchungen erfolgreich abgeschlossen. Die gesamten Ergebnisse haben die Eignung des Wirtsgesteins Steinsalz bestätigt /Bechthold 2003/.

Bei der Einlagerung von verglastem Abfall in Bohrlöchern im Steinsalz können durch hohe Gamma-Strahlungsdosen Strahlenschäden im umgebenden Steinsalz auftreten. Dabei entstehen gasförmiges Chlor und kolloidales Natrium. Bei der Rekombination kann spontan Energie freigesetzt werden. Obwohl auf diesem Gebiet hauptsächlich im Rahmen von EU-Rahmenprogrammen gearbeitet wurde, konnte in einem national durch BMBF geförderten FuE-Vorhaben /Mönig 1997/ gezeigt werden, dass die für ein Endlager ermittelte Strahlenschädigung bezüglich Langzeitauswirkungen unbedenklich ist. Dem Problem kann ferner durch geeignete technische Maßnahmen begegnet werden. Eine Stellungnahme der RSK bestätigt diese Einschätzung /RSK 2006/.

Bezüglich einer möglichen Immobilisierung von Uran im Nahfeld wurden Mitte der 1990er Jahre Untersuchungen mit Hydroxylapatit (HAP) als Zuschlagstoff im Versatz durchgeführt. Auch in Gegenwart hochsalinärer Lösungen mit Eisen aus Korrosionsprozessen konnte eine

Ausfällung von Uranylphosphaten beobachtet werden. Gleichwohl konnte eine langfristige und vollständige Sorption des Urans nicht beobachtet werden /Marx 1998/.

Grundlegende Untersuchungen zu weiteren geeigneten Zuschlagstoffen für die Rückhaltung schwer sorbierender anionischer Spezies zeigten bisher die prinzipielle Eignung von basischen Bleicarbonaten, Bleioxid, Kupferoxid und Eisenoxiden. Weiterhin wurden „Organotone“, aus Dreischicht-Tonmineralien durch Austausch der Zwischenschichtkationen durch organische Kationen erzeugt, auf ihre Eignung als Anionenadsorber untersucht /Michel et al. 2008/. Die Langzeitstabilität unter endlagerrelevanten Bedingungen wurde ebenfalls untersucht.

Aus den bisher durchgeführten Untersuchungen zur Wirkung reaktiver Zuschlagstoffe auf das geochemische Milieu konnten keine Vorteile ermittelt werden, die den Einsatz solcher Materialien nahe legen. Im Übrigen würde ein derartiges Vorgehen die geochemischen Bedingungen unnötig komplizieren. Aktuell befinden sich keine weiteren Arbeiten zu Versatzmaterialien mit chemisch reaktiven Zuschlagstoffen in der Durchführung.

Zu Bentonit als Puffer- und Verschlussmaterial wurden für Endlager in den Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Granit über rund ein Jahrzehnt umfangreiche Arbeiten durchgeführt.

Wie das Projekt ISIBEL (Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW) /Krone 2009/ gezeigt hat, spielen die mechanisch-hydraulischen Eigenschaften von Salzgrusversatz eine wesentliche Rolle und sind für die sicherheitstechnische Bewertung des Endlagerkonzepts (vertikale Bohrlochlagerung) somit ausschlaggebend. Einlagerungs-Bohrlöcher und -Strecken werden für den Einschluss der Abfälle im Wirtsgestein mit artgleichem Salzgrusversatz verfüllt. Anhand der bisherigen Ergebnisse hat sich gezeigt, dass der Kompaktionsgrad und die Restporosität bzw. -permeabilität für das Verhalten des Versatzmaterials entscheidend sind und Konsequenzen für die sicherheitsanalytische Bewertung haben. Erste Überlegungen dazu wurden in einem Projekt angestellt, in dem das vorhandene Wissen zusammengestellt, analysiert, bewertet und die gefundenen Defizite in den Kenntnissen, in der Methodik und den Modellvorstellungen dargestellt sowie Vorschläge für die experimentelle Klärung entworfen wurden /Kröhn et al. 2009/. Ein weiteres FuE-Verbundvorhaben, das diese Thematik abschließend behandelt, wurde daraus resultierend initiiert.

Die Untersuchungen zu geotechnischen Verschlussmaßnahmen stehen ebenfalls in enger Beziehung zu den Untersuchungen zur Auflockerungszone im Steinsalz. Zum Thema Auflockerungszone liegen bereits umfangreiche Ergebnisse vor. Weitere Untersuchungen zur Rückbildung (Verheilung) einer aufgelockerten Gesteinszone an realen Systemen wären noch erforderlich, um eine noch größere und belastbarere Datenbasis für die Modellierung des Systems zu erhalten. Leider sind solche Arbeiten heute nicht mehr realisierbar, da das einzige bekannte und geeignete Untersuchungsobjekt (Dammjoch im Forschungsbergwerk Asse) nicht mehr zugänglich ist.

Für die Sicherheitsbewertung untertägiger Entsorgungseinrichtungen im Wirtsgestein Steinsalz (sowohl Untertagedeponien als auch Endlager für hochradioaktive Abfälle) wichtige FuE-Arbeiten wurden über den Projektträger PTKA-WTE auf Grundlage des Förderkonzepts „Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen“ auch durch BMBF gefördert. Dieser BMBF-Förderschwerpunkt endet im Jahr 2011. So waren und sind ein Großteil der Untersuchungen zu Konzeption, Bau und Erprobung von Verschlussbauwerken (Schacht- und Streckenverschlüsse), FuE-Vorhaben zur Verbesserung von geophysikalischen Verfahren zur Detektion von Inhomogenitäten sowie Arbeiten zur geochemischen Stabilität von Tonen / Bentoniten als Materialien für Verschlussbauwerke im hochsalinaren Milieu dort angesiedelt. Die grundsätzliche Übertragbarkeit dieser Konzepte auf die besonderen Anforderungen eines Endlagers für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle ist gegeben.

Geochemie der Actiniden

Der Geochemie der Actiniden kommt ein wesentlicher Anteil im Kontext der Beschreibung und Bewertung eines Endlagersystems zu. Untersuchungen aus diesem Forschungsbereich sind notwendig, weil sie dazu beitragen die grundlegenden Prozesse zu verstehen und die die thermodynamische Datenbasis, die für Prognoserechnungen erforderlich ist, zu ermitteln.

Seit 2006 wurde durch das Karlsruher Institut für Technologie, das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit und die Technische Universität Bergakademie Freiberg eine einheitliche, umfassende und konsistente **thermodynamische Referenzdatenbasis (THEREDA)** zur geochemischen Modellierung von Nah- und Fernfeldprozessen erstellt. Diese Referenzdatenbasis konzentriert sich dabei schwerpunktmäßig auf die Erfassung von thermodynamischen Kenngrößen unter salinaren Randbedingungen, wie sie für Deutschland derzeit spezifisch sind.

Vorhandene thermodynamische Stoffgrößen für Schwermetalle, Radionuklide und relevante Matrixelemente werden gesammelt, nach einheitlich vorher festgesetzten Kriterien bewertet und in einer Datenbank zusammengefasst. Das übergeordnete Ziel ist die Schaffung einer qualitativ hochwertigen, einheitlichen Datenbasis, die in Genehmigungsverfahren für untertägige Entsorgungseinrichtungen als verbindliche Grundlage von geochemischen Modellierungen dient /Altmaier et al. 2011/.

Radionuklidtransport

Falls es zu einer Mobilisierung und Freisetzung von Radionukliden kommen sollte, sind physikalische und chemische Prozesse wie Sorption, Komplexierung, Redoxreaktionen und Verdünnung im Endlagernahfeld, im System geologischer und geotechnischer Barrieren und weiterhin in sich anschließenden Gesteinsformationen von Bedeutung. Der Radionuklidtransport ist daher modellmäßig zu beschreiben und mit belastbaren Daten zu untersetzen.

Die grundlegenden Untersuchungen zu physikalisch-chemischen Eigenschaften der Actiniden erforderten die Entwicklung hochempfindlicher laserspektroskopischer Speziationsmethoden.

Die Sorption ausgewählter Radionuklide (Uran, Europium, Curium) sowie analoger Lanthanide wurde unter Einsatz der zeitaufgelösten Laserfluoreszenz-Spektroskopie untersucht. Untersuchungen zur Wechselwirkung von Radionukliden mit Grundwasserkolloiden erfolgten mit der neu entwickelten Laser-induzierten Breakdown-Detektion (LIBD) Spektroskopie. Diese Untersuchungen verbesserten die Kenntnis zu den Reaktionsmechanismen der jeweils ablaufenden Einzelprozesse.

Der Sorptionsprozess konnte erfolgreich durch das Modell der Oberflächenkomplexierung beschrieben und durch Berechnung von Säulenversuchen mit gekoppelten Transport-Speziations-Codes überprüft werden.

Um die Radionuklidenausbreitung im Rahmen sicherheitsanalytisch relevanter Szenarien beurteilen zu können, wurden seit 1995 Untersuchungen zum Migrationsverhalten in wasserführendem Deckgebirge im Rahmen eines Verbundvorhabens („Huminstoff-Verbund“) durchgeführt. Der Verbund hatte anfangs seine Arbeiten auf eine mit den Gorleben-Aquiferen vergleichbare Situation konzentriert. Zur Komplexierung von Radionukliden unter naturnahen Bedingungen in Gesteins-Huminstoff-Systemen mit Lösungen hoher Ionenstärke wurden wichtige Daten für die geochemische Modellierung ermittelt. Die grundlegenden Untersuchungen zum Komplexierungsverhalten von gezielt synthetisierten Huminstoff-Analoga haben wesentlich zu einer Verbesserung des Kenntnisstands der zugrunde liegenden Prozesse beigetragen /Marquardt 2004/. Der Schwerpunkt der Aktivitäten in der von 2003 bis 2011 währenden Phase verlagerte sich auf das System Tonstein-Huminstoff-Aquifer.

Ein weiterer Teil der Forschungsaktivitäten befasste sich mit dem Einfluss von Mikroorganismen und Kolloiden auf die Radionuklidmigration. Im Rahmen mikrobiologischer Arbeiten wurden bisher die Prozesse der Biosorption, der Bioakkumulation und der Biotransformation

sowie die Speziation für ausgewählte Radionuklide in der Biomasse eingehender untersucht. Weitere Arbeiten zur Wechselwirkung zwischen Mikroorganismen und Radionukliden durch Bioliganden, die komplexierende funktionelle Gruppen enthalten, befinden sich in der Durchführung. Diese Arbeiten wurden vor allem im Rahmen der deutsch-schwedischen Kooperation im HRL Äspö durchgeführt und haben eindrücklich die Bedeutung von Mikroben für die RN-Migration in diesem Milieu gezeigt /Moll et al. 2009/. Aktuell wurden die Arbeiten ebenfalls auf die Identifizierung der mikrobiologischen Spezies in Opalinuston-Formationen im Rahmen der internationalen Kooperation im Mt.-Terri-Projekt in der Schweiz ausgeweitet.

Ein großer Fortschritt in der Simulation der Grundwasserbewegung und des Radionuklidtransports wurde mit der Entwicklung der Programme d^{3f} und r^{3t} erzielt. Diese Programme sind in der Lage, für großräumige und komplex aufgebaute Modellgebiete Grundwasserbewegungen und Radionuklidtransport dreidimensional zu berechnen. Sie sind anwendbar für poröse und auch klüftige Medien, auch unter Berücksichtigung z.B. des Wärmetransports oder freier Oberflächen und sie gehören derzeit zu den leistungsfähigsten Codes für die genannten Aufgaben. Das Anwendungsspektrum der beiden Rechenprogramme wird damit erheblich vergrößert.

Gasbildung und Gastransport

Gasbildung und Gastransport werden als relevante Themen im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen zur Endlagerung in dichten Gesteinen wie Steinsalz oder Tonstein berücksichtigt. In Bezug auf die Endlagerung in Steinsalz konnten in den letzten Jahren deutliche Fortschritte auf den Themengebieten Gasbildung und Gastransport erzielt werden. Diese wurden auf einem GRS/PTKA-WTE-Workshop im April 2007 („Gas-Workshop“) detaillierter im Themenkomplex Gasbildung, Beeinträchtigung der Integrität der Wirtsgesteinsformation und von Verschlussbauwerken, Transport von Gasen und Lösungen im Grubengebäude, Auswirkungen auf das chemische Milieu im Nahfeld sowie die Ausbreitung radioaktiver Gase über den Gaspfad diskutiert /Rübel et al. 2007/.

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Die grundlegenden Kenntnisse zu den Bildungsmechanismen und zum Gastransport sind vorhanden. Die Radiolyse führt zu Gasmengen, die im Vergleich zu den Mengen aus anderen Quellen vernachlässigbar sind. Die Radiolyse ist deshalb von untergeordneter Bedeutung für ein Endlager für Wärme erzeugende Abfälle. Auch der Abbau organischer Stoffe ist für HAW-Endlager im Steinsalz von nachrangiger Bedeutung.

Der dominante Prozess für die Gasentwicklung ist die Behälterkorrosion, die zur Bildung von Wasserstoff führt. Anhand umfangreicher und detaillierter Korrosionsuntersuchungen an Behältermaterial liegen Kenntnisse zu Abtragungsraten vor, aus denen sich die Gasbildungsrate und damit die Größenordnungen der gebildeten Gasmenge ableiten lassen. Fragen zur Kinetik des Gesamtprozesses, der Gesamtwasserverfügbarkeit und die Wasserzutrittsrate sind von Relevanz für die Sicherheitsanalyse und der dafür relevanten „Gas-Szenarien“.

Die bislang geltenden Vorstellungen zur Auswirkung des Gasdrucks, d. h. das Frac-Szenario und die Bildung einer Sekundärporosität, sind zu revidieren, wie Untersuchungen des Instituts für Gebirgsmechanik in Leipzig zeigten. So erfolgt Fracen mit Zerstörung der Kristallstruktur nur bei einem sehr schnellen Druckanstieg. Dieser ist in einem HAW-Endlager nicht zu besorgen. Weitere Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Sekundärpermeabilität wesentlich ist. Diese Phänomene sind vergleichbar auch in Tongesteinen beobachtet worden.

Der „Gas-Workshop“ hat auch aufgezeigt, dass noch Untersuchungsbedarf hinsichtlich Gasdruckaufbau und -wirkung auf die geotechnischen Barrieren sowie über die Reichweite der Gasausbreitung (d. h. innerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs) und damit zu Aussagen zur sicherheitsanalytischen Belastbarkeit besteht. Überdies ist die Migration von Gasen im Steinsalz noch nicht vollständig verstanden.

Zum Transport von Lösungen und Gasen in porösen Medien (2-Phasen-Strömung) liegen mathematische Beschreibungen vor und entsprechende Codes sind verfügbar. Die Beschreibung der 2-Phasen-Strömung in Salzgrus gestaltet sich nach wie vor schwierig, da die Ermittlung der konstitutionellen Beziehungen experimentell sehr aufwändig ist.

Im EU-Projekt NF-PRO, das sich mit den Prozessen im Nahfeld eines Endlagers befasste und zu dem von BMWi FuE-Vorhaben kofinanziert wurden, sind Steinsalz-relevante Themen, die sich zum einen mit den Auswirkungen der Auflockerungszone, zum anderen mit der Nutzung der Ergebnisse für Sicherheitsanalysen befassten, untersucht und bewertet worden /Becker et al. 2008/.

Methoden und Instrumente für die Sicherheitsanalyse

Die Entwicklung von Methoden und Instrumenten für die Sicherheitsanalyse sowie für die numerische Simulation mit Rechenprogrammen war und ist nach wie vor eine wesentliche Aufgabe der Forschung zur Endlagersicherheit.

Die Grundlagen dazu wurden durch das im Zeitraum 1977-1984 durchgeführte "Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung" (PSE) gelegt, in dem in erster Linie Störfallereignisse in Einrichtungen der nuklearen Entsorgung, einschließlich des Endlagers, analysiert wurden. Die wesentlichen Elemente dieser Analyse waren Störfallszenarien (Ereignisabläufe), die Sicherheit des gesamten Endlagersystems bestimmenden physikalischen und chemischen Prozesse sowie die erforderlichen Daten zur Quantifizierung dieser Vorgänge /PSE 1985/.

In bedeutend weiterentwickelter und verbesserter Fassung sind die im Rahmen von PSE entwickelten Methoden und Rechenprogramme wesentlicher Bestandteil des heute verfügbaren sicherheitsanalytischen Instrumentariums.

Eine der ersten Anwendungen der in PSE erarbeiteten Methodik war eine Systemanalyse für die Entsorgungskonzepte „Wiederaufarbeitung“ und „Direkte Endlagerung“ im Rahmen des FuE-Schwerpunktes „Andere Entsorgungstechniken“ im Jahre 1984. Unter den damals für diese Konzepte zugrunde gelegten Annahmen und Randbedingungen des sogenannten „nicht bestimmungsgemäßen Betriebs“ zeigten die Rechnungen, dass eine Nuklidfreisetzung weder aus dem Endlager-Bereich erfolgt, in dem die hochaktiven Wiederaufarbeitungsabfälle endgelagert werden, noch aus dem Bereich in dem sich die endgelagerten Brennelemente befinden. Aufgrund der hohen Temperaturen und des thermomechanischen Verhaltens von Steinsalz erfolgt in beiden Fällen ein schnelles Verschließen der Hohlräume im Grubengebäude. Hierdurch wird das Vordringen von Salzlösungen in diese Bereiche verhindert.

Eine weitere wichtige Anwendung der in PSE entwickelten Methodik zum Nachweis der Langzeitsicherheit eines Endlagers erfolgte 1986 im Zusammenhang mit der Vervollständigung der Planungsunterlagen für das Planfeststellungsverfahren der Schachanlage Konrad.

Anfangs wurden bei Langzeitsicherheitsanalysen deterministisch Störfallereignisse unterstellt und die Konsequenzen als feste Zahlenwerte errechnet. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse oder die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer bestimmten Kombination von Eingangsparametern für die Langzeitsicherheitsanalyse wurden nicht berücksichtigt.

Wegen der langen Betrachtungszeiträume und wegen der Daten- und Modellunsicherheiten aufgrund eines im Detail unvollständigen Kenntnisstands zum System und aufgrund fehlender oder ungenauer Daten sind in den Ergebnissen deterministischer Analysen immer Unsicherheiten vorhanden.

Probabilistische Methoden bieten die Möglichkeit, Unsicherheiten von Modellparametern und Daten explizit zu berücksichtigen und demzufolge zu einer Rangordnung der Eingangsparameter hinsichtlich ihres Einflusses auf das Analyseergebnis zu gelangen (Sensitivität). Die probabilistische Methode besteht hier in der sogenannten Monte-Carlo-Technik, bei der die

Berechnung der Konsequenzen eines Störfallszenarios sehr oft wiederholt wird, wobei für jede Berechnung eine bestimmte Kombination der Eingangsparameter gewählt wird.

Langzeitsicherheitsanalysen in Kombination mit probabilistischem Ansatz kamen bei den durch die EU geförderten Projekten PAGIS (**P**erformance **A**ssessment of **G**eological **I**solation **S**ystems for Radioactive Waste) /Cadelli et al. 1988/ und PACOMA (**P**erformance **A**ssessment of **C**onfinements for **M**edium-Level and **A**lpha-Contaminated Waste) /Hirse Korn 1991/ sowie bei der **S**ystemanalyse **M**ischkonzept (SAM) im Rahmen des FuE-Programms Direkte Endlagerung zur Anwendung. Die durchgeführte Sensitivitätsanalyse ergab, dass neben der Konvergenz der Hohlräume im Grubengebäude die strömungsmechanische Größe Permeabilität (Durchlässigkeit) der Endlagerverfüllung und -verschlüsse die größten Auswirkungen auf die berechnete Dosis hat /Storck 1993/.

Rechenprogramme für Langzeitsicherheitsanalysen, die den heutigen Stand des Wissens repräsentieren, sind zum einen EMOS (**E**ndlager**M**odellierung von **S**zenarien) und zum anderen MARNIE. Mit diesen Werkzeugen ist es möglich eine integrierte Sicherheitsanalyse durchzuführen, bei der u.a. in sogenannten Freisetzungsberechnungen der Dosisverlauf für sicherheitsrelevante Radionuklide bestimmt werden kann.

Das Programmsystem EMOS wird durch die Einbindung, Anpassung und Modifizierung neu entwickelter bzw. überarbeiteter Module, die den aktuellen Stand der Technik und Wissenschaft, insbesondere das grundlegende Prozessverständnis widerspiegeln, ständig weiter verbessert und erweitert.

Es existieren Module, die die Freisetzung von Schadstoffen aus dem Nahfeld (REPOS, LOPOS, GRAPOS, CLAYPOS und – für eine Variante der Untertagedeponie, die Deponiekaverne – KAKTOS), den Transport durch das Fernfeld (CHETLIN, CHETNIS, CHETMAD/-C, und TRAPIC) und die daraus folgende jährliche Strahlenexposition in der Biosphäre (EXCON und EXMAS) auf Grund verschiedener Expositionspfade beschreiben können. Die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung und der Test bzw. Einsatz von EMOS im Rahmen von EU-Projekten oder nationalen Projekten hat in den letzten Jahren zu einem weit fortgeschrittenen Werkzeug geführt, das zur Durchführung deterministischer und probabilistischer Sicherheitsanalysen für Endlager in Steinsalz, in kristallinen Gesteinen und Tonstein benutzt wird.

Einen wichtigen Beitrag zum Thema Sicherheitsanalyse im Hinblick auf die Entwicklung eines Safety Case leistete das EU-Projekt PAMINA (**P**erformance **A**ssessment **M**ethodologies **i**n **A**pplication to Guide the Development of the Safety Case), in dem der derzeit aktuelle internationale Stand u.a. zu Methoden und Instrumenten, zur Behandlung von Unsicherheiten, zur Anwendung von Performance-Indikatoren sowie zu fortgeschrittenen Verfahren in der Anwendung zusammengetragen und bewertet wurde, um eine Verbesserung und Harmonisierung zu erreichen. Die Ergebnisse konnten auch für die Ertüchtigung der deutschen Programmsysteme herangezogen werden /Rübel 2010/.

Seit den Arbeiten im Programm Direkte Endlagerung sind in Deutschland keine systemanalytischen Arbeiten (im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung eines Endlagersystems) durchgeführt worden, obgleich sich die Kenntnisse, Instrumente und Methoden auf diesem Gebiet sowohl national als auch international deutlich weiterentwickelt hatten. Vor diesem Hintergrund wurde das Vorhaben ISIBEL (Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW) initiiert und durchgeführt. Auf der Basis eines Endlagerkonzeptes für die vertikale Bohrlochlagerung wurde die methodologische Basis für ein vollständiges Nachweiskonzept entwickelt. Schwerpunkte waren vor allem die erstmalige Erstellung eines FEP-Katalogs (**F**eatures, **E**vents, **P**rocesses) für Salz (der einem externen Review unterzogen wurde), die substantielle Darstellung eines geologischen Standortmodells, Betrachtung der Betriebsphase, Freisetzungskonzept und Integritätsnachweise für technische und geotechnische Barrieren /Krone 2009/.

Dieses Nachweiskonzept ist Bestandteil der konzeptionellen und methodischen Basis für die vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG).

Natürliche (oder archäologische) Analoga

Für Prozesse, in denen sowohl räumliche Dimensionen als auch vor allem geologische Zeiträume von Relevanz sind, kann das Studium von natürlichen oder archäologischen Analoga wertvolle Hinweise für die Konstruktion von Modellen und für die Modellierung geben. Analoga können auch dazu beitragen, Vollständigkeit und Relevanz der wesentlichen Prozesse, des konzeptionellen Modells sowie die Plausibilität und Realitätsnähe der Modellannahmen zu beurteilen.

Aufgrund der Bedeutung, die dem Studium natürlicher Analoga für die Langzeitsicherheitsanalyse zugemessen wird, wurde 1994 der Expertenkreis "Natürliche Analoga" etabliert, um die Verwendung von natürlichen Analoga für ein Endlager im Salinar zu diskutieren und Themen für zukünftige FuE-Arbeiten zu definieren. Als ein wichtiges Ergebnis der Diskussionen wurde zu den Bereichen "Barrierefunktion des Salzgebirges", "Rückhaltung von Radionukliden im Nah- und Fernbereich sowie im Deckgebirge" eine Zusammenstellung von möglichen natürlichen Analoga erarbeitet. Ausgehend von dieser Zusammenstellung sind mittlerweile FuE-Aktivitäten initiiert worden, die auch internationale Beachtung gefunden haben. Insbesondere zählt hierzu das NA-Projekt, das in Kooperation mit tschechischen Institutionen und als Teil des EU-Projekts FUNMIG (**F**undamental Processes of Radionuclide **M**igration), das Studium des Verhaltens von Uran und Thorium in tertiären Sedimenten zum Gegenstand hatte. In Ruprechtov (Tschechien) wurden Standortuntersuchungen durchgeführt und durch Labor- und Modellierungsaktivitäten begleitet. Sie erlaubten eine exzellente Charakterisierung der Genese und der Geschichte, so dass eine vertiefte und umfassende Kenntnis zu den Prozessen erworben wurde /Noseck 2009/.

Die bereits in den vorhergehenden Förderkonzepten („Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen (1997 – 2001)“ /PT 1998/ und „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2002 – 2006)“ /PT 2001/ sowie „(2007 – 2010)“ /PT 2007/) gezogenen Schlussfolgerungen für die künftigen FuE-Aktivitäten sind auch aktuell noch gültig. Weitere Forschung und Entwicklung ist notwendig, um den vorhandenen Wissensstand zu vertiefen, insbesondere um

- die Grundlagen für eine rechtzeitige Bereitstellung von sicheren Endlagern für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle stetig weiter zu verbessern,
- die bislang gegebenen Möglichkeiten der Charakterisierung der Abfälle hinsichtlich ihres Langzeitverhaltens fortzuentwickeln,
- Sicherheitsnachweise so umfassend, genau und nachprüfbar wie möglich führen zu können.

3.2. Laufende Arbeiten

Nachfolgend werden aktuelle Forschungsarbeiten beschrieben und der erkennbare Forschungsbedarf aufgezeigt.

Radionuklidmigration und Quellterm

Die Forschungsarbeiten zur Radionuklidmigration können als weit fortgeschritten angesehen werden. Da sowohl am Salzgestein als auch am Salzgrusversatz Radionuklide praktisch nicht sorbieren, ist es von entscheidender Bedeutung, dass in einem Endlager im Steinsalz geologische Randbedingungen vorliegen, die das Eindringen von Wasser oder Salzlösungen ausschließen. Dies soll im Endlagersystem durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG), der im Zusammenwirken mit den technischen Verschlüssen den Einschluss der Abfälle sicherstellt, gewährleistet werden. Dieser Einschluss, als Sicherheitsfunktion des Endlagersystems, bewirkt, dass die radioaktiven Abfälle in einem definierten Gebirgsbereich eingeschlossen sind und grundsätzlich am Einlagerungsort verbleiben. Allenfalls geringe defi-

nierte Stoffmengen sollten in diesem Gebirgsbereich migrieren und deren Verhalten durch detaillierte Kenntnisse zu den relevanten physikalisch-chemischen Prozessen, sowohl im Nahfeld als auch im Fernfeld des Endlagers, einschließlich der Modellierung im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse beschreibbar sein, um so einen umfassenden Sicherheitsnachweis erbringen zu können.

Im Falle einer Mobilisierung von Radionukliden wird jedoch ein möglichst umfassendes physikalisch-chemisches Verständnis zum Freisetzungsprozess aus der Abfallmatrix nach erfolgter Korrosion bzw. mechanischer Schädigung des Abfallbehälters benötigt.

Zur Korrosion verschiedener Behältermaterialien (Behälterkorrosion) in relevanten wässrigen Systemen wurden insbesondere am Institut für Nukleare Entsorgung am Karlsruher Institut für Technologie über viele Jahre Untersuchungen durchgeführt /Smailos 1989/. So konnte aus den Untersuchungen auf das Korrosionsverhalten und die Art der Korrosion geschlossen werden. Insbesondere letzteres ist wesentlich für Sicherheitsanalysen, da man daraus eine konservativ festgelegte Behälterstandzeit ableiten kann.

Bislang unberücksichtigt blieben Fragen hinsichtlich der Bildung von Sekundärphasen in Folge des Korrosionsprozesses und deren Wirksamkeit als chemische Barriere. Da insbesondere diese Fragestellungen von Bedeutung für die Mobilisierung und Ausbreitung von Radionukliden aus dem Nahbereich des Endlagers heraus sein können, sollten sie durch gezielte Untersuchungen geklärt werden.

Außer bei der potentiellen Behälterkorrosion ist die Bildung von Sekundärphasen ebenfalls durch Korrosionsprozesse beim Kernbrennstoff sowie bei HAW-Glas zu berücksichtigen.

Untersuchungen zur Kernbrennstoff-Korrosion, vor allem in salinaren korrosiven Medien, wurden vom Karlsruher Institut für Technologie /Kienzler et al. 2001/ und vom Forschungszentrum Jülich, hier speziell an MTR-Brennstoff, durchgeführt /Brücher et al.2001/. In Abhängigkeit von der in Betracht gezogenen Wirtsfornation sind chemisch unterschiedliche wässrige Medien (hoch saline Lösungen, Ton-Poren- und Granitwässer) und damit ein stark unterschiedliches Korrosionsverhalten zu berücksichtigen.

Radionuklidfreisetzungsraten infolge korrosiver Zerstörung des Zirkalloy-Hüllrohrs wurden ermittelt sowie die Prozesse Gasentwicklung, Phasenumwandlungen und -neubildungen untersucht.

Für hoch abgebrannten Kernbrennstoff werden die zu erwartenden Effekte (instant release fraction) und ihre Konsequenzen für die Sicherheitsanalyse näher zu untersuchen sein; dies ist auch ein Thema, das als wichtig in der Strategischen Forschungsagenda der IGD-TP angesehen wird.

Zur Prüfung einer möglichen Endlagerung der wenigen noch vorhandenen Brennelemente aus Forschungsreaktoren in Deutschland sollen Informationen zur Matrixstabilität und zum Freisetzungsverhalten der enthaltenen, Dosis bestimmenden Radionuklide ermittelt werden. Diese Fragen sind Gegenstand laufender Projekte.

Die Korrosion verglaster Abfälle aus der Wiederaufarbeitung und damit die Stabilität von HAW-Glas war ebenfalls Gegenstand eingehender Untersuchungen. Neben Spaltprodukten und Actiniden sowie Spuren von nicht abgetrenntem Uran und Plutonium sind oxidische Verbindungen aus aufgelöstem Hüllmaterial und Prozesschemikalien in der Borosilikatglasmatrix eingebunden.

Eine Radionuklidfreisetzung kann durch die Anwesenheit von wässrigen Phasen (Grund- und Tiefenwässer in geologischen Formationen) bzw. von Wasserdampf an der noch heißen Glasoberfläche verursacht werden. Hierbei kommt es zu Korrosionsprozessen der Glasmatrix bzw. zum selektiven Herauslösen von Radionukliden infolge von Diffusionsvorgängen in der Feststoffmatrix, die nicht mit Auflösungs- oder Umwandlungsvorgängen des Abfallprodukts einhergehen. Beide Vorgänge können dazu führen, dass freigesetzte Radionuklide in direkt angrenzenden Gebieten wieder die Löslichkeitsgrenzen überschreiten und je nach den

dort gegebenen geochemischen Bedingungen Sekundärphasen bilden. Komplexe gemischte Sekundärphasen können auch aus den Korrosionsprodukten der Behältermatrix bzw. aus der Kernbrennstoff- und Glasmatrix entstehen.

In diesen sich neu bildenden Feststoffphasen ist die Immobilisierung der Radionuklide sowohl durch Sorptionsprozesse an den Oberflächen als auch durch Einbindung in die entstehende Festphase möglich. Eine Reversibilität dieser Prozesse ist prinzipiell immer gegeben und entscheidend von den vorliegenden geochemischen Randbedingungen abhängig. Aktuell wird noch Forschungsbedarf zur Bildung von Sekundärphasen und deren retardierenden Einfluss auf die Radionuklidsorption in unmittelbarer Umgebung der Behälter gesehen. Die derzeit vorherrschende Beschreibung der Sorption durch K_D -Werte, die sich auf ein thermodynamisches Gleichgewicht beziehen, ist nur bedingt korrekt, da kinetische Effekte maßgeblich die huminsäuregetragene Radionuklidmigration bestimmen.

Sowohl bei Auflösungs Vorgängen an der Kernbrennstoffmatrix als auch an der Glasmatrix sind weitere physikalisch-chemische Prozesse möglich. So wurden die grundlegenden Mechanismen der Fremd- und Eigenkolloidbildung von Radionukliden für die geochemischen Randbedingungen des Fernfeldes bereits untersucht /Kim et al. 2007/. Die Kolloidbildung im Nahfeld in Wechselwirkung mit Korrosionsprodukten des Behälters, der verglasten Abfälle und der Brennelemente ist jedoch noch nicht Gegenstand von Untersuchungen geworden.

So kann der kolloidale Transport von Radionukliden hinsichtlich der Bildungsmechanismen und des quantitativen Anteils an Mobilisierungsprozessen im Nahfeld eines Endlagers derzeit nur bedingt im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse detailliert abgebildet werden.

Die chemisch-physikalische Situation im Umfeld der Abfälle und Behälter bestimmt somit entscheidend die Prozesse der Mobilisierung und Migration von Radionukliden aus dem Abfallinventar.

Für Modellrechnungen zum Verhalten der Radionuklide in aquatischen Systemen werden Speziations- und Löslichkeitsdaten benötigt. Die bereits vorliegenden nicht-standort-spezifischen thermodynamischen Daten zeigen erhebliche Inkonsistenzen im Hinblick auf Vollständigkeit für die relevanten Elemente, den Speziationen mit den zugehörigen Bildungskonstanten und den Variationsbereichen von Temperatur, Dichte, Druck und Ionenstärke, wie sie für die geochemischen Randbedingungen in einem Endlager zu erwarten sind. Häufig liegen thermodynamische Daten nur für Standardbedingungen (25 °C) vor, die nicht zuverlässig auf endlagerrelevante Bedingungen (höherer Temperaturbereich, höhere Ionenstärke salinärer Lösungen) extrapoliert werden können. Geochemische Modellrechnungen sind dadurch mit Unsicherheiten belastet. Um diese Unsicherheiten zu beheben, wurde im Jahr 2006 als konzertierte Aktion von BMWi, BMBF und BMU/BfS ein heute noch in der Durchführung befindliches Verbundvorhaben zur Erstellung einer konsistenten thermodynamischen Referenzdatenbasis (THEREDA) begonnen /Altmaier 2011/.

Die Arbeiten sollen existierende Daten zusammenführen und bezüglich ihrer Verlässlichkeit bewerten sowie noch offene Bereiche identifizieren, in denen bisher für spezifische Rahmenbedingungen, wie erhöhte Salinität der Lösungen, noch Datenlücken vorliegen. Diese Lücken sollen in weiteren noch zu initiiierenden FuE-Vorhaben geschlossen werden.

Weiterhin werden im Rahmen eines aktuellen Verbundvorhabens zu langlebigen und mobilen Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (VESPA) vom Karlsruher Institut für Technologie, dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, dem Forschungszentrum Jülich und der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit Möglichkeiten zu deren Rückhaltung untersucht und zugleich thermodynamische Daten ermittelt, die ebenfalls in das THEREDA-Vorhaben einfließen werden. Ein wichtiges Ziel des Vorhabens besteht im Abbau von bisher im Langzeitsicherheitsnachweis eingesetzten konservativen Annahmen durch konkret ermittelte thermodynamische Daten zu mobilen Spalt- und Aktivierungsprodukten. Es wird davon ausgegangen, dass die Sorption an Organika, Mineraloberflächen und Korrosionsprodukten höher ist als bisher in den Modellierungen angenommen. Die Untersuchungs-

ergebnisse könnten somit zu einer deutlichen Reduzierung von Unsicherheiten im Langzeitsicherheitsnachweis führen.

Weiterhin ist das Vorhandensein von Radiokohlenstoff (14-C) unter Endlagerbedingungen wegen des hohen Dosisbeitrags zu Beginn der Nachbetriebsphase des Endlagers relevant. Das Verhalten radioaktiver, insbesondere Radiokohlenstoff enthaltender Gase und ihre Wechselwirkungsprozesse sind wegen des nicht unerheblichen Beitrags zur Dosisbelastung der Biosphäre detaillierter und quantitativ zu beschreiben. Im bereits zuvor erwähnten VESPA-Vorhaben werden diese Fragestellungen berücksichtigt.

Zusammenfassend sind folgende Fragestellungen zur Radionuklidmigration im Rahmen aktueller FuE-Vorhaben in Bearbeitung oder beinhalten noch offene, zu klärende Fragestellungen:

- Vervollständigung der thermodynamischen Daten speziell für saline Nahfeldbedingungen einschließlich der Erstellung einer Referenzdatenbasis;
- Bildung von Sekundärphasen in Folge von Behälter- und Abfallmatrixkorrosion und deren retardierender Einfluss auf die Radionuklidsorption;
- Rückhaltung gering sorbierender Radionuklide;
- Wechselwirkungsmechanismen von Mikroorganismen, Huminstoffen und Kolloiden mit Radionukliden im Nah- und Fernfeld des Endlagers und Modellierung der Radionuklidmigration.

Modellierung der Radionuklidmigration

Die FuE-Aktivitäten mit Bezug zur Modellierung der Radionuklidmigration respektive der Transportmodellierung befassten und befassen sich mit der Entwicklung, der Weiterentwicklung, dem Test und dem Einsatz des erforderlichen programmtechnischen Instrumentariums.

Das Programmsystem EMOS wird zurzeit unter verschiedenen Gesichtspunkten an die neuen Erfordernisse angepasst (z.B. Software, Modul-Adaption, Analysemodule/-routinen).

Mit dem Programm d^3f (**d**istributed **d**ensity **d**riven **f**low) und dem Transportprogramm r^3t (**r**adionuclides, **r**eaction, **r**etardation, and **t**ransport) liegen exzellente Werkzeuge vor, mit denen Dichteströmungen und der Transport von chemotoxischen bzw. radioaktiven Schadstoffen durch das Fernfeld eines Endlagers modelliert und simuliert werden können. In diese Programme sind der aktuelle Entwicklungsstand numerischer Mathematik und das Software Engineering, beide maßgeblich im Projekt vorangetrieben, eingeflossen.

Eine Herausforderung für Simulations-Programme ist nach wie vor der Test an realen Beispielen, was letztlich für die Qualifizierung notwendig ist. Für beide Programme wurde und wird dies anhand realer Problemstellungen versucht. So wurden z.B. anhand von Daten aus dem HRL Äspö, dem URL Mont Terri und Cape Cod Berechnungen durchgeführt /Fein 2008/.

Zur Modellierung der Radionuklidmigration sind folgende Themenbereiche im Rahmen aktueller FuE-Vorhaben in Bearbeitung oder als wichtige Fragestellungen zu behandeln:

- Weiterentwicklung und Test von Softwaretools für die Modellierung des Mehrkomponententransports und gekoppelter Prozesse (Strömung, Transport und Geochemie), Test an realen Objekten;
- Qualifizierung der Daten/Datenbasen (thermodynamisch/geochemisch) für In-situ-Bedingungen;
- Ermittlung des Materialverhaltens von Puffer-Materialien und der thermischen, hydraulischen, mechanischen und chemischen Beanspruchung des Systems geotechnischer Barrieren, die durch das Zusammenwirken von THMC-Prozessen verursacht wird;
- Arbeiten zur Verbesserung des Verständnisses von Rückhalte- und Transportprozessen, unter anderem die belastbare Beschreibung von Rückhalteprozessen durch

thermodynamische Modelle (Oberflächenkomplexierungs-Modelle) oder die Notwendigkeit der Berücksichtigung kinetischer Ansätze bei der Beschreibung des kolloidgetragenen Radionuklidtransports;

- Test der Programme und Validierung der Modelle, die von zentraler Bedeutung sind (Arbeiten im Rahmen internationaler Benchmarks);
- Untersuchungen zum Upscaling durch das Studium natürlicher Analoga und die Modellierung von In-situ-Experimenten in den URL Grimsel, Äspö und Mont Terri.

Verschlussmaßnahmen

Der Kenntnisstand zu Verschlussmaßnahmen ist, insbesondere für Steinsalz, aufgrund nationaler und internationaler Aktivitäten, relativ weit fortgeschritten. Für Entsorgungseinrichtungen in salinaren Wirtsgesteinen wurden im Fördergebiet des BMBF zur Ablagerung gefährlicher Abfälle unter Tage, welches zum Ende des Jahres 2011 auslaufen wird, mehrere FuE-Vorhaben durchgeführt.

Die Untersuchungen zu geotechnischen Verschlussmaßnahmen stehen ebenfalls in enger Beziehung zu den Untersuchungen zur Auflockerungszone (ALZ) im Steinsalz. Auflockerungszonen können mittlerweile mit einer Reihe von zerstörenden und (weitgehend) zerstörungsfreien Methoden in Steinsalz, aber auch in den alternativen Wirtsgesteinen Tonstein und Granit detektiert und charakterisiert werden. Die vorliegenden Kenntnisse erlauben zudem die modellmäßige Behandlung der ALZ in Sicherheitsanalysen, wobei das Prozessverständnis im Detail noch verbesserungsbedürftig ist und durch weitere FuE-Aktivitäten zu untersetzen wäre. Es besteht grundsätzlich die Notwendigkeit, durch Überarbeitung und Absicherung des modelltheoretischen Instrumentariums und durch sorgfältige Überprüfung definierter Labor- oder Technikumsversuche zu einem besseren Verständnis des Systems Verschlussbauwerk (einschließlich Versatz) - Randzone - Kontaktfuge - Auflockerungszone - Wirtsgestein zu gelangen. So ist zum Beispiel der Prozess der zeitabhängigen Entwicklung und Rückbildung der hydraulischen Durchlässigkeit bzw. Permeabilität des Gesteins in der ALZ ist noch nicht vollumfänglich verstanden und wird derzeit auch international intensiv untersucht. Weiterhin schließt die Entwicklung optimierter Konzepte von Verschlussystemen weitere Überlegungen zum Umgang mit der ALZ, die z. B. ein Dichtelement umgibt, und damit zusammenhängenden Phänomenen zwangsläufig ein.

Diese Arbeiten erscheinen mit überschaubarem Zeit- und Finanzaufwand realisierbar und werden aktuell in einem BMWi-Vorhaben zur Vergütung der Auflockerungszone im Salinar (VerA) bearbeitet.

Dambbauwerke in den Zugangsstrecken zwischen Schacht und Einlagerungsfeldern sind von entscheidender Bedeutung für die Langzeitsicherheit eines Endlagers. Dammbauwerke sind technisch insofern anspruchsvoller als Schachtverschlüsse, als es Schwerkraft bedingt zu Setzungen des Materials kommen kann. Zudem weist das Strecken umgebende Gestein oft aufgrund einer höheren mechanischen Beanspruchung eine ausgeprägtere Auflockerungszone als das Gestein um Schächte auf.

Kürzlich bearbeitete FuE-Vorhaben zu Dammbauwerken für UTD und UTV werden eine Reihe noch offener Fragestellungen beantworten. Für ein HAW-Endlager sind die Adaption und die Möglichkeit der Umsetzung bisheriger Konzepte zu prüfen. Die Vorgehensweise zum ingenieurtechnischen Sicherheitsnachweis für Dammbauwerke ist zu formulieren. Auch diese Arbeiten sollten in relativ kurzer Zeit realisierbar sein. Ob die Idee eines großmaßstäblichen In-situ-Dammbauversuchs wieder aufgenommen werden soll, ist unter Abwägung der aus einem solchen Versuch erwarteten, zusätzlichen Erkenntnisse zu entscheiden. Zudem werden derzeit im Endlagerprojekt ERAM großmaßstäbliche Untersuchungen an einem Dammbauwerk realisiert.

Die technische Realisierbarkeit von langzeitsicheren Schachtverschlüssen nach Bergrecht ist anhand einer Option nachgewiesen, die derzeit im Rahmen von Verwahrungsmaßnahmen für stillzulegende Gewinnungsbergwerke zur Anwendung kommt. Damit existiert ein Stand von Wissenschaft und Technik für dieses wichtige Barriereelement. Ob das zugrunde gelegte Konzept auf einen Schachtverschluss für ein Endlager für radioaktive Abfälle übertragbar oder sogar direkt anwendbar ist, bleibt zu prüfen.

Das Thema Schachtverschluss für HAW-Endlager in Steinsalz ist international nach wie vor Gegenstand von FuE-Aktivitäten. Die Überlegungen zur Umsetzung sind noch in einem frühen Stadium. Design, Materialien, Langzeitverhalten, Integrität, etc. sind nur einige Aspekte, die zu betrachten sind. Dieser Themenschwerpunkt wird auch im Rahmen eines Schlüsselthemas der Strategischen Forschungsagenda der IGD-TP hervorgehoben.

Verschlusskonzepte für ein generisches Endlager in Tonstein waren in Deutschland bislang nicht Gegenstand von Überlegungen und FuE-Projekten, werden aber aktuell im Rahmen des Verbundvorhabens ELSA erstmalig mit einbezogen.

In verschiedenen, meist als Verbundvorhaben angelegten, FuE-Projekten befassen sich Forschungsstellen derzeit mit einer weitergehenden Optimierung von Materialien (Magnesiazeemente, Magnesiabindersysteme, selbstabdichtendem Salzversatz) und mit der Konzeption fortschrittlicher, redundant ausgelegter Verschlussysteme für Strecken und Schächte. Nach erfolgreichem Abschluss dieser Vorhaben kann man vom Vorliegen einer sehr breit angelegten und gut abgesicherten Wissensbasis zu Verschlussmaßnahmen für untertägige Entsorgungseinrichtungen ausgehen, die in erster Linie auf die für die Untertagedeponierung, den Untertageversatz und die Endlagerung im Steinsalz relevanten Verhältnisse in Evaporitgesteinen anwendbar ist.

Auf der Grundlage dieser Vorhabensergebnisse sollen dann weitere Aktivitäten im Bereich der anwendungsorientierten Endlagerforschung des BMWi bewertet werden. Grundsätzlich ist hierbei die Frage bezüglich der Übertragung und Anwendbarkeit der in der untertägigen Entsorgung gefährlicher Abfälle entwickelten Konzepte auf die Endlagerung radioaktiver Abfälle zu betrachten.

In einem vom Projektträger initiierten und gemeinsam mit GRS durchgeführten Workshop zum Thema „Verschlussysteme in einem Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in Salzformationen“ wurden noch offene Forschungsaufgaben identifiziert /Rothfuchs 2011/.

Aktuell wird ein Verbundvorhaben zur Entwicklung eines Verschlusskonzepts für ein Endlager für hochradioaktive Wärme entwickelnde Abfälle in Deutschland (ELSA) durchgeführt. Das Vorhaben soll auf der Basis des bestehenden wissenschaftlichen Kenntnisstandes und des vorhandenen bautechnischen Erfahrungsstandes zu Verschlussbauwerken und den für ein Endlager relevanten Belastungsszenarien ein realisierbares Verschlusskonzept entwickeln. Das Konzept wird prioritär für ein Endlager in einer Salzformation entwickelt. Ergänzend bzw. im Vergleich dazu wird erarbeitet, wie ein Schachtverschluss für den Fall eines Endlagers in einer Tonsteinformation aussehen kann. Dazu werden die Ergebnisse der abgeschlossenen Vorhaben GENESIS (Tonstandorte in Deutschland und Endlagerauslegung) und ERATO (Referenz-Endlagerkonzept im Tonstein) zu Grunde gelegt.

Natürliche Analoga

In den frühen 1990er Jahren bestanden an den Einsatz von Ergebnissen bzw. Erkenntnissen aus dem Studium Natürlicher Analoga und/oder anthropogener Analoga im Rahmen der Langzeit-Sicherheitsbewertung hohe Erwartungen, die mittlerweile einer eher pragmatischen Einstellung zu ihrer Verwendung gewichen sind.

Es besteht international Konsens darüber, dass die Betrachtung und die Nutzung von Analoga (natürliche und anthropogene) für den Sicherheitsnachweis wichtig sind und ihren Platz haben. Erstens werden Analoga als Träger von Zusatzinformationen angesehen und im

Rahmen ihrer Möglichkeiten für den Safety Case genutzt. Sie werden z.B. speziell auf Fragestellungen, die sich aus Sicherheitsüberlegungen ergeben, ausgewählt und untersucht. In diesem Sinne sind Natürliche Analoga auch für Belange eines deutschen Sicherheitsnachweiskonzeptes in die Überlegungen einzubeziehen.

Eine Zusammenstellung vorliegender Kenntnisse sind in /Noseck et al. 2008/ und /BfS 2005/ zu finden.

Mögliche Anwendungsgebiete und daraus resultierende Aktivitäten wurden im Rahmen des Vorhabens ISIBEL zusammengestellt /Wolf et al. 2011/.

4. FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Tonstein / Ton

In Deutschland können neben Steinsalz auch andere Gesteinsarten als Wirtsgestein für die Endlagerung gefährlicher Abfälle in Betracht gezogen werden. Dazu zählt Ton/Tonstein.

Anfang der 2000er Jahre erfolgte der verstärkte Einstieg in FuE-Aktivitäten mit Bezug zu Tonstein, der bis dahin weniger intensiv untersucht worden war. Dieses Vorgehen war auch dem politischen Willen geschuldet, Alternativen zum Wirtsgestein Steinsalz zu untersuchen, um einen adäquaten Kenntnisstand in Deutschland zur Bewertung unterschiedlicher Wirtsgesteinsoptionen zur Verfügung zu haben.

Plastische Tone in Belgien, konsolidierte Tonsteinformationen in Frankreich und in der Schweiz werden als potenzielles Wirtsgestein für die Endlagerung Wärme entwickelnder, hochradioaktiver Abfälle untersucht. Plastische Tone wie der belgische Boom-Clay sind in Deutschland in geeigneter Teufenlage und Mächtigkeit nicht vorhanden. Im Jahr 2007 wurden in einer durch BMWi initiierten Studie der BGR /Hoth et al. 2007/ Regionen mit geeigneten Tonsteinformationen in Nord- und Süddeutschland ausgewiesen.

Da keine standortbezogenen Untersuchungen in Deutschland durchgeführt werden, beteiligen sich aktuell deutsche Forschungsinstitutionen ausschließlich im Rahmen internationaler Forschungsprogramme an Arbeiten in den Untertagelabors in Frankreich und der Schweiz. Aus Eignungsuntersuchungen des 1976 stillgelegten Eisenerzbergwerks Konrad für die Endlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in den Jahren 1976 bis 1982 resultierten erste Kenntnisse zu den mächtigen Ton- und Mergelschichten des Deckgebirges über dem Erzlager in Norddeutschland. Diese Kenntnisse sind in die Tonforschung mit eingeflossen. Derzeit ist Tonstein nach Meinung vieler Sachverständiger die einzige in Betracht zu ziehende Wirtsgesteins-Alternative zu Steinsalz. Insbesondere die sehr geringe Durchlässigkeit und die hohe Sorptionsfähigkeit sind für die Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen günstige Eigenschaften von Ton.

Im Rahmen der internationalen In-situ-Experimente im Felslabor Mont Terri sind BGR und GRS an umfangreichen Untersuchungen zu geomechanischen, felsmechanischen und hydrogeologischen Modellierungen beteiligt (www.Mont-Terri.ch).

4.1. Bisherige Arbeiten und Kenntnisstand

Anwendungsorientierte experimentelle Forschungsarbeiten wurden in den Untertagelaboratorien in Mont Terri (Schweiz), in Bure (Frankreich) und in geringem Umfang bis zum Jahr 2000 in Mol (Belgien) realisiert, da in Deutschland keine Möglichkeiten zur Durchführung von In-situ-Experimenten vorhanden waren und sind.

Trotz der bisherigen Arbeiten und Projekte, die von deutschen Forschungseinrichtungen durchgeführt wurden, unterscheidet sich der Wissens- und Informationsstand von dem in Deutschland intensiv untersuchten Wirtsgestein Steinsalz.

Endlagerkonzepte

Konzeptuelle FuE-Arbeiten für HAW-Endlager in Tonstein wurden in Deutschland im Rahmen der BMWi-finanzierten Vorhaben „Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten in Salz- und Tongestein“ (GEIST), „Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tonstein in Deutschland“ (GENESIS) und „Entwicklung von Konzepten für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen in Tongestein“ (ERATO) durchgeführt und hatten ausschließlich generischen Charakter.

Diese Projekte, insbesondere das Projekt GEIST, ließen erkennen, dass die Endlagerung in Tonstein grundsätzlich machbar erscheint. Die in diesem Vorhaben erzielten Resultate wurden zusammen mit den Ergebnissen des Vorhabens GENESIS genutzt, um die Erstellung eines Referenzkonzeptes für ein generisches Endlager in Tonstein zu realisieren /Pöhler et al. 2010/.

Untersuchungen an Tonsteinen aus potentiellen deutschen Endlagerregionen mit Tonsteinvorkommen sind noch nicht durchgeführt worden.

Die aus solchen Untersuchungen in internationalen Projekten erzielten und künftig erzielbaren Erkenntnisse sind aber zur Absicherung und Überprüfung der Untersuchungsergebnisse an potentiellen deutschen Tonsteinen nutzbar. Zudem besteht für deutsche Forschungseinrichtungen nur in ausländischen Untertagelabors die Möglichkeit, Expertise und spezifische Kenntnisse aus In-situ-Arbeiten zu gewinnen.

Verhalten des Wirtsgesteins Tongestein

Im Rahmen der internationalen In-situ-Experimente im Felslabor Mont Terri sind BGR und GRS an umfangreichen Untersuchungen zur Zusammensetzung des Porenwassers sowie zur Wasser- und Gasdurchlässigkeit des Opalinustons, zur Beschaffenheit der Auflockerungszone, zum Wärmeeinfluss der Endlagergebäude auf umgebenden Bentonit und angrenzendes Wirtsgestein sowie an geomechanischen, felsmechanischen und hydrogeologischen Modellierungen beteiligt.

Verschlussysteme

Bentonit ist in den Ton- und Kristallin-Endlagerkonzepten als Material für die geotechnische Barriere vorgesehen und soll sowohl für den Buffer als auch den Verschluss verwendet werden. Daher ist die Untersuchung seines Verhaltens und seiner Eigenschaften wesentlicher Bestandteil der FuE-Aktivitäten der skandinavischen Länder, der Schweiz und Frankreichs.

Forschungsaktivitäten wurden speziell zum Verhalten von Tongranulat bzw. Bentoniten als mögliche Versatzmaterialien bzw. Materialien zur Konstruktion von Verschlussbauwerken auch im Steinsalz und Granit durchgeführt. Prinzipiell sind diese Ergebnisse, mit gewissen Einschränkungen, auch auf das Verhalten von Tonstein übertragbar. Diese Arbeiten erfolgten innerhalb der internationalen Zusammenarbeit mit der Schweiz im URL Grimsel und mit Schweden im HRL Äspö im Hartgestein.

Aus der Gegenüberstellung der chemischen Umsetzungsprozesse und der veränderten hydraulischen Eigenschaften der umgewandelten Materialien lassen sich Aussagen über das Langzeitverhalten der untersuchten Materialien ableiten. In Verbindung von geochemischer Modellierung und Transportmodellierung mit den gekoppelten Gleichgewichts-Transport-Codes EMOS-ChemApp soll für die sicherheitsrelevanten Zeitabschnitte das Materialverhalten nachvollziehbar belegt werden.

Insgesamt existieren bereits Kenntnisse zur Entwicklung des Quelldrucks, der geochemischen Langzeitstabilität und der technischen Anwendung von Ton/Bentonit sowohl im salinaren Milieu als auch für geochemische Randbedingungen (verschiedene Salinitäten von Wässern) im Tonstein und in kristallinen Gesteinen. Es wird als sinnvoll angesehen, FuE-Arbeiten zu Verschlussmaßnahmen im Tonstein verstärkt zu bearbeiten, um bei Bedarf für ein Endlagerkonzept für Wärme entwickelnde Abfälle in Tonstein eine verbesserte wissenschaftliche Grundlage zu haben. Eine Beteiligung deutscher FuE-Einrichtungen im UT-Labor Bure ist in Vorbereitung.

In erster Linie wird es um konzeptionelle Fragen zu Versatz- und Verschlussmaßnahmen im Streckenbereich eines solchen Endlagers gehen, die durch die erforderlichen Ausbaumaßnahmen in Tonsteinen neuartige methodische Ansätze erfordern. Besonderes Augenmerk wird auch dem zeitlichen Verhalten und den THMC-Eigenschaften von Puffer- und Versatzmaterialien gewidmet werden müssen, damit der für die Langzeitsicherheit entscheidende Wiederaufsättigungsprozess und eine etwaig ablaufende Schadstoffausbreitung durch Diffusion verlässlich beschrieben werden können.

Radionuklidmigration

Aufbauend auf Verbundprojekten zur Radionuklidmigration im Fernfeld eines Endlagers im Steinsalz wurden im Jahr 2003 erste nationale, tonbezogene Arbeiten begonnen, an denen das Karlsruher Institut für Technologie KIT, das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf HZDR, das ehemalige Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung in Leipzig, das heute in das HZDR integriert ist, die Universitäten Mainz, Saarbrücken, Heidelberg und Potsdam sowie die Technischen Universitäten München und Dresden beteiligt waren bzw. sind. /Marquardt 2000 und 2008/.

Der Schwerpunkt dieser BMWi-finanzierten Forschungsarbeiten im Verbundprojekt „Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer“ lag in der Beschreibung der Wechselwirkung von Actiniden mit Kaolinit als Referenzmaterial unter dem Einfluss von unterschiedlichen Huminsäuren und von „Natural Organic Matter (NOM)“. Kaolinit wurde als einfachstes Tonmineral ausgewählt, um durch Ermittlung der systematischen Grundlagen die Tools für eine zukünftige Behandlung von komplexeren Tongesteinen als Wirtsgestein bzw. als geologische Barriere bereitstellen zu können.

Forschungsthema war bisher auch das Wechselwirkungsverhalten der Actiniden Uran, Neptunium, Plutonium, Americium und Curium, auch für unterschiedliche Speziationen. Darüber hinaus wurden ebenso Konkurrenzprozesse durch Elemente wie Eisen, Calcium und Magnesium sowie die zu den dreiwertigen Actiniden analogen Lanthaniden (Gadolinium, Europium, Terbium) in die Untersuchungen einbezogen. Parallel und ergänzend zu den experimentellen Untersuchungen wurden theoretische Berechnungen durchgeführt, um die Wechselwirkungen verschiedener Actinidenelemente mit Carboxylgruppen, der für die Metallionenkomplexierung wichtigsten funktionellen Gruppen von Huminstoffen sowie mit Hydroxylgruppen erklären und vorausberechnen zu können. Diese Einbindung theoretischer Untersuchungsmethoden zur Interpretation von experimentellen Befunden hat sich als durchaus erfolgreich erwiesen und soll auch bei der Fortführung der Vorhaben beibehalten werden.

Die vorliegenden Ergebnisse liefern die Grundlage, auf der Untersuchungen mit weitergehenden Fragestellungen zur Actiniden-Migration aufbauen. Schwerpunkt der Fortführung der Arbeiten ist die Anwendung erarbeiteter Methoden und Verfahren bei der Untersuchung der Wechselwirkung der Actiniden im natürlichen Tonstein unter Berücksichtigung von Huminstoffen und von Tonorganika sowie die Berücksichtigung höherer Temperaturen. Da bezüglich potenzieller Tonsteinformationen in Deutschland bisher keine FuE-Aktivitäten eingeleitet wurden, konzentrieren sich die Verbundarbeiten hierbei auf Opalinuston, der im Mont Terri-Projekt in der Schweiz Gegenstand eingehender Untersuchungen ist. Die Arbeiten erfolgen im regelmäßigen informellen Austausch mit dem Paul-Scherrer-Institut und der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA).

Mit den vorhandenen Methoden soll es zukünftig möglich sein, unklassifizierte Tonsteinformationen hinsichtlich ihrer geochemischen Parameter vergleichend einzuordnen und die Parameter einzuschätzen, die die Actinidenspeziation und -migration, dominieren. Ermittelte Kenngrößen werden zu einer Erweiterung der für die Langzeitsicherheitsprognose benötigten thermodynamischen und kinetischen Datenbasis beitragen. Die Forschungsarbeiten sollen durch Mitwirkung der GRS enger an die Langzeitsicherheitsforschung angebunden werden.

4.2. Laufende Arbeiten

Deutsche Forschungsstellen arbeiten seit Mitte der 1990er Jahre in internationalen FuE-Projekten zur Endlagerung in Tonstein. Im Jahr 2001 wurden aufgrund der politischen Vorgaben, auch alternative Wirtsgesteine zu untersuchen, FuE-Projekte initiiert, die vor allem im Rahmen internationaler Kooperationen im schweizerischen Untertagelabor in Mont Terri und im französischen URL in Bure durchgeführt worden sind.

Die Arbeiten betreffen Themen aus den Gebieten Geochemie, Hydrologie, und Gebirgsmechanik sowie Fragestellungen zum diffusivem Transport, zu den geotechnischen Barrieren (EBS – Engineered Barrier Systems), zu der Auflockerungszone, der Permeabilität und der Mikrobiologie. Von besonderer Bedeutung in diesem Zusammenhang ist die Berücksichtigung gekoppelter THM-Prozesse.

Folgende FuE-Schwerpunkte befinden sich in der Bearbeitung:

- In-situ- und Labor-Experimente zur Untersuchung der Erzeugung, Freisetzung und Ausbreitung von Fluiden im Tonstein und in den Versatzmaterialien,
- die Ermittlung von Gesteinsparametern, die zur Beschreibung des Materialverhaltens erforderlich sind,
- die Entwicklung von Modellen zur Modellierung von gekoppelten THM(C)-Prozessen,
- die Weiterentwicklung der Methoden zur Messung der thermischen und hydraulischen Effekte auf das Wirtsgestein,
- Untersuchungen zur Ausbreitung von Radionukliden,
- Mikrobiologische Untersuchungen des Wirtsgesteins,
- Untersuchungen an aufgelockerten Gesteinszonen (ALZ),
- Mitarbeit an FuE-Arbeiten zu Verschlussmaßnahmen.

In der vorliegenden Fassung des Förderkonzepts sind in der Regel in den FuE-Themen mit Fragestellungen, die für die Endlagerung im Steinsalz im Rahmen dringender restlicher Arbeiten zu behandeln sind, entsprechende Untersuchungen auch für die Endlagerung in Tonsteinen vorgesehen. Auf Gebieten, die diese Vorgehensweise erlauben, wird die Übertragung oder Anwendung vorhandenen Wissens oder vorhandener technischer und analytischer Methoden von Steinsalz-Systemen auf Tonstein-Systeme geprüft.

Folgende Aktivitäten zur Endlagerung im Tonstein und mit Bezug zu den FuE-Schwerpunkten zum Endlagersystem werden als prioritär angesehen.

Konzepte, Technik und Demonstration

Die Entwicklung generischer Konzepte für Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in Tonstein ist zu realisieren.

Verhalten des Wirtsgesteins Tonstein

Zu den Eigenschaften von Tonstein besteht weiterhin noch Forschungsbedarf bezüglich des Verhaltens der organischen Bestandteile bei thermischer Belastung sowie der Identifizierung von in Tonsteinformationen gefundenen mikrobiellen Spezies. Die thermische Belastung von Tonsteinproben führt einerseits zur Verdampfung organischer Verbindungen, andererseits aber auch zu chemischen Crackprozessen. Es wurde die Bildung von Phenolen und Furanen sowie von Fettsäuren und Ketonen beobachtet. Die Auswirkungen auf das mineralogische Gefüge des Tons sowie die Weiterreaktionen dieser Verbindungen und deren Einfluss auf die Radionuklidmigration sind noch nicht vollständig verstanden.

Gesteinsmaterial aus den von der BGR in der Tonstudie identifizierten Regionen ist hinsichtlich seiner Endlager- und sicherheitsrelevanten Eigenschaften zu charakterisieren und mit den bekannten und gut untersuchten Gesteinen aus ausländischen Untertagelaboratorien zu

vergleichen. Hierbei sind spezifische Randbedingungen wie die erhöhte Salinität von Grundwässern in norddeutschen Tonsteinformationen zu berücksichtigen.

Eine ebenfalls zum Forschungsschwerpunkt gehörende Aktivität sind Arbeiten zur Auflockerungszone. Die Untersuchungen zu Auflockerungszonen in Tonsteinen werden im Wesentlichen durch BGR und GRS in internationalen Projekten fortgesetzt.

Geotechnische Barrieren

Nach Ansicht der in die Aktualisierung des Förderkonzepts eingebundenen Sachverständigen soll in internationalen Projekten von deutscher Seite weiter an der Konzeption, dem Bau und der Erprobung langzeitsicherer Abschlussbauwerke bzw. deren Komponenten in Tonstein mitgearbeitet werden. Ob eine Beteiligung an internationalen Großprojekten erfolgen soll, ist fallweise und themenbezogen zu entscheiden.

In einem aktuell im Untertagelabor Mont Terri durchgeführten Experiment zu selbstdichtenden Barrieren (SB-Experiment) wird untersucht, ob sich die Permeabilität von Ton/Mineral-Gemischen so optimieren lässt, dass der sich in einem abgeschlossenen Endlagerbereich einstellende Gasdruck bei kontrollierter Abströmung der Gase über das Verschlussystem stets kleiner als der Gaseintrittsdruck im Gebirge bleibt, so dass im Gebirge keine unkontrollierten Risse generiert werden. Für die Optimierung der Verschlusskörper für Endlager werden im Labor das Aufsättigungsverhalten, die sich einstellenden Quelldrücke sowie die Gas- und Wasserpermeabilitäten von verschiedenen Ton/Mineral-Gemischen ermittelt. Im Technikum werden die geplanten In-situ-Einbautechniken und die Messtechnik überprüft. Im Untertagelabor Mont Terri werden in einem Versuchsfeld die In-situ erreichbaren Einbaudichten, Wassersättigungen in Wechselwirkung mit dem umgebenden Gebirge, die resultierenden Quelldrücke sowie die Ein- und Zweiphasenflussparameter und die Gasdurchbruchdrucke bestimmt.

Neben diesen internationalen Arbeiten wurden weitere nationale Vorhaben auch über BMWi und BMBF im Bereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle und der untertägigen Deponierung gefährlicher Abfälle speziell im Hinblick auf das Ton-/Bentonitverhalten gefördert. Für Langzeitsicherheitsanalysen müssen mögliche Veränderungen des Mineralphasenbestandes der Bentonite und damit ihrer Dichtwirkung infolge der Wechselwirkungen mit aus dem Gebirge zutretenden Lösungen bzw. je nach Endlagerkonzept auch mit Betonkorrosionslösungen quantifiziert werden. Aus diesem Grund werden aktuell von der GRS Langzeitversuche durchgeführt, in denen die Entwicklung der Lösungszusammensetzung und des Phasenbestandes auf dem Reaktionspfad bis zum thermodynamischen Gleichgewicht betrachtet sowie die Veränderung der hydraulischen Eigenschaften der reagierenden Bentonite mittels Quelldruckversuchen bestimmt werden. Im Rahmen eines weiteren Vorhabens werden experimentelle und modelltheoretische Grundlagen geschaffen, um die im Nahbereich eines HAW-Endlagers zu erwartenden Wechselwirkungen von Bentonitbarrieren mit Eisenbehältern qualitativ und quantitativ beschreiben zu können.

Nahfeldgeochemie

Die Migration von Radionukliden erfolgt bei der Endlagerung in Ton oder Tonstein durch Diffusion. Das geochemische Milieu im Umfeld der Abfälle ist in einem Referenzkonzept zu umreißen, um experimentelle Untersuchungen gezielter durchführen zu können. Aufgrund der hohen Ionenstärke der Porenwässer und da ein Ausbau der Endlagerhohlräume mit Beton erfolgen muss, werden Untersuchungen zur Auswirkung des geochemischen Milieus auf die Radionuklidmobilisierung und -migration zu vertiefen sein. Das Korrosionsverhalten von Endlagergebänden in tonhaltigen Matrices und der Quellterm sind zu ermitteln.

Diese Arbeiten sollten sich an der Entwicklung generischer Endlagerkonzepte für Tonstein orientieren.

Methoden, Modelle und numerische Simulation

Die Instrumente für numerische Ausbreitungsrechnungen sind für die Anwendbarkeit auf Tonsysteme zu ertüchtigen und weiter zu entwickeln.

Systemanalysen

Systemanalysen für Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in Tonsteinformationen sind zu realisieren um Defizite des sicherheitsanalytischen Instrumentariums zu erkennen und eine belastbare Grundlage für einen Sicherheitsnachweis zu belegen.

Aufgrund der Ergebnisse und deren Einschätzung und Bewertung sowie der Möglichkeit zur Definition von FuE-Aktivitäten ist es als notwendig anzusehen, Werkzeuge und Methoden für den Sicherheitsnachweis der Endlagerung in Steinsalz, in ähnlicher Weise wie im Projekt ISIBEL gezeigt, auch für das Konzept in Tonformationen zu erproben. Vorbereitungen dazu sind angelaufen.

5. FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Granit (kristalline Gesteine)

Forschungsarbeiten zum Themenbereich Granit wurden durch das BMBF (ehemals BMFT) bereits im Jahr 1982 begonnen. Grundlage war ein bilaterales Abkommen mit der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle NAGRA zur Beteiligung an Untersuchungen im Felslabor Grimsel in der Schweiz. Diese Arbeiten haben nicht nur dazu beigetragen, das Verständnis über dieses Wirtsgestein zu erweitern, sondern es sind auch eine Reihe von Methoden, Verfahren und Techniken sowie Software-Werkzeuge (Programm ROCKFLOW) entwickelt und getestet worden. Diese wissenschaftlichen Werkzeuge werden auch in Arbeiten außerhalb der Aktivitäten im Felslabor Grimsel eingesetzt.

Seit 1995 besteht zwischen der schwedischen Endlagerorganisation SKB und dem BMWi (vor 1998 BMBF) eine Vereinbarung über die Teilnahme an den FuE-Aktivitäten im HRL Äspö. Deutsche Forschungseinrichtungen beteiligen sich an verschiedenen internationalen Projekten mit dem Ziel, die Kenntnisse zu diesem Wirtsgestein und insbesondere zum Verhalten des geotechnischen Barriersystems (EBS) anhand von Labor- und In-situ-Untersuchungen sowie durch Modellierungsarbeiten zu vertiefen. Insbesondere sind dies die Projekte Prototype Repository, Temperature Buffer Test, Modellierung der Eigenschaften der Bentonitbarriere sowie Projekte, die sich mit der Migration von Radionukliden sowie dem Einfluss von Mikroorganismen auf die Radionuklidmigration befassen.

In Folge der Fokussierung der deutschen FuE-Aktivitäten auf die Wirtsgesteine Steinsalz und Tonstein wird derzeit nur eine begrenzte Anzahl granitrelevanter Arbeiten innerhalb der internationalen Kooperationen durchgeführt. Hierbei ist als wesentliches Kriterium stets die Übertragbarkeit der Erkenntnisse aus den Untersuchungen auf die oben genannten Wirtsgesteine maßgeblich.

5.1. Bisherige Arbeiten und Kenntnisstand

Im Folgenden werden die bisherigen Arbeiten und Ergebnisse kurz vorgestellt, welche in den deutschen Projekten innerhalb dieser Kooperationen durchgeführt und erzielt wurden.

Wirtsgesteinseigenschaften

Die Ermittlung sicherheitsrelevanter geomechanischer und hydraulischer Wirtsgesteinseigenschaften stand im Fokus der Arbeiten zur Entwicklung und Erprobung von zerstörungsfreien seismischen In-situ-Methoden zur Beurteilung der Gebirgseigenschaften in der Umgebung untertägiger Hohlräume in kristallinen Gesteinen.

In mehreren nationalen und internationalen Untertagelaboratorien (unter anderem im HRL Äspö) wurden in verschiedenen Wirtsgesteinen (Granit, Steinsalz und Tonstein) refraktionsseismische Messungen zur Charakterisierung der Auflockerungszone erfolgreich durchgeführt. Die Ergebnisse stimmen gut mit Ergebnissen anderer Methoden überein. Die Erkundung erfolgt absolut zerstörungsfrei, da die seismischen Empfänger (Piezoelemente) am Gebirge angeklebt werden. Mit Hilfe der ermittelten seismischen Parameter (P- und S-Wellengeschwindigkeiten, Dämpfungsverhalten) kann die Auflockerungszone sehr gut charakterisiert werden. Darüber hinaus können Störungen und anomale Bereiche aufgrund abweichender Schalllaufzeiten und / oder Dämpfungseigenschaften erfasst werden.

Ziel von Forschungsvorhaben, die im Rahmen der deutsch-russischen Kooperation für Standorte in der Region Krasnojarsk durchgeführt wurden /Wallner et al. 2005/, war es, einen methodischen Ansatz zu entwickeln, der zu einem fundierten Standorterkundungs- und -auswahlprogramm führt, das auf die für die Belange der Endlagersicherheit wesentlichen Aspekte ausgerichtet ist. Die Besonderheit dieser Aufgabenstellung bestand darin, dass bereits in einer frühen Phase der Standorterkundung und Endlagerplanung die Frage nach dem tatsächlichen geowissenschaftlichen Informationsbedarf für eine Sicherheitsbewertung gestellt wird, den die weitere Standorterkundung decken soll. So wird abweichend von der gängigen Praxis einer möglichst umfassenden und damit aufwändigen Standortcharakterisierung die Konzentration auf ein zielorientiertes Erkundungsprogramm ermöglicht. Diesem Ansatz folgend wurde die Charakterisierung der geologischen Barriere, sowie die Charakterisierung, Auslegung und Sicherheitsbewertung der technischen Barrieren bezüglich ihrer Isolationspotenziale vorgenommen um letztlich zur Bewertung der Wirksamkeit des gesamten Barrierensystems zu gelangen.

Ein weiterer Schwerpunkt waren Untersuchungen zu spezifischen Wirtsgesteinseigenschaften, speziell zur Auswirkung mikrobieller Aktivität auf die Radionuklidmigration. Sulfat-reduzierende Bakterien (SRB) wurden im tiefen granitischen Aquifer-System des HRL Äspö nachgewiesen. Es gelang, einen neuen SRB-Stamm *Desulfovibrio äspöensis* zu isolieren, mit dem grundlegende Prozesse der Wechselwirkung von Uran, Curium, Neptunium und Plutonium mit Zellen von *Desulfovibrio äspöensis* untersucht wurden. Es konnte gezeigt werden, dass unterschiedliche Wechselwirkungen mit den Bakterien erfolgen können. So konnten die Zellen alle vier Actiniden aus der Angebotslösung entfernen, wobei die Menge an entferntem Actinid und die Art des Wechselwirkungsmechanismus zwischen den unterschiedlichen Actiniden variierten.

Die Untersuchungen mit Plutonium zeigten, dass die Zellen in der Lage sind, aus einer Plutonium-Lösung Plutonium(VI) zu binden und dieses schnell zu reduzieren. Im Fall von Curium in der Oxidationsstufe III und bei niedrigen Metallkonzentrationen dominiert die Biosorption unter Bildung eines innersphärischen Oberflächenkomplexes wahrscheinlich an organischen Phosphatgruppen der Zellwandstruktur /Moll 2009/.

Geotechnische Barrieren

Untersuchungen zu geotechnischen Barrieren zielten darauf, ein Aufsättigungsmodell für Bentonit bereitzustellen, das im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen verwendet werden kann und dabei so einfach wie möglich, aber dennoch aussagekräftig ist. Eine umfassende Diskussion der Bentonitmikrostruktur sowie der aufsättigungsrelevanten Prozesse bilden die Grundlage für stichhaltige konzeptuelle Modelle. Ein Vergleich dieser Grundlagen mit aktuell verwendeten Ansätzen wies auf Schwächen in den existierenden Modellen hin.

Als Ergebnis lässt sich feststellen, dass die Beschreibung der Mikrostruktur des Bentonits sowie die Zusammenstellung der bei Wasserzutritt ablaufenden Prozesse die Komplexität des Aufsättigungsvorgangs belegen. Neu entwickelte konzeptuelle Modelle basieren im Wesentlichen auf gut untersuchten, einfachen Gesetzmäßigkeiten. Die Relationen zwischen der Bentonittrockendichte und der Saugspannung sowie der Permeabilität im gesättigten Zustand konnten durch Kompilation von Literaturdaten aufgestellt werden und zeigen in beiden Fällen einen auffallend engen Zusammenhang. Weitere fehlende Größen lassen sich mit

vergleichsweise geringem experimentellem Aufwand ermitteln und in ein numerisches Modell umsetzen. Begleitend durchgeführte Experimente liefern erstmals eine Datenbasis, die die Dynamik der Aufsättigung sowohl für die Aufsättigung durch flüssiges Wasser als auch für die Aufsättigung durch Wasserdampf in guter räumlicher und zeitlicher Auflösung beschreibt. Außerdem stehen nunmehr Daten über die Geschwindigkeit der Aufsättigung durch Dampf zur Verfügung. Die Überprüfung der parallel dazu entwickelten numerischen Codes mit Hilfe der neuen Datenbasis sowie parallel mit den aus der Literatur bekannten Ergebnissen bestätigt die neuen Ansätze für Laborbedingungen. Außerdem wurde die hohe Relevanz der Dampfdiffusion bei der Aufsättigung des Bentonits demonstriert.

Radionuklidmigration

Im HRL Äspö waren Untersuchungen zur Mobilität im Endlager relevanter Radionuklide, vor allem von Actiniden, in granitischen Endlagersystemen ein Schwerpunkt deutscher FuE-Aktivitäten. In zwei Vorhaben wurde das Isolationspotential der geologischen Barriere Granit und die Mobilität geogener Radionuklide während der geologischen Vergangenheit untersucht. Untersuchungen zur Uran- und Thoriummobilität wurden im URL Äspö durchgeführt. In den untersuchten Gesteinen war durch Wechselwirkungen mit untertägigen Lösungen das Uran innerhalb der jüngeren geologischen Vergangenheit zumindest in Klüften mobil. Am Beispiel der Granitoide von Äspö ist es gelungen, eine quantitative Beurteilung der Gesamt-Immobilisierungskapazität der geologischen Barriere Granit zu ermitteln. Insgesamt bietet die geologische Barriere Granit ein großes chemisches Immobilisierungspotenzial für endlagerrelevante Elemente.

Diese Untersuchungen wurden auf Granite mit Mikroklüften aus dem HRL Äspö ausgedehnt, die auf ihre Rückhaltefähigkeit gegenüber Endlager relevanten Elementen, wie beispielsweise Kobalt, Strontium, Cäsium, Thorium und Uran, untersucht wurden.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Entwicklung von Modellen zur Berechnung von Zweiphasen-Strömungs- und Transportvorgängen in wasserführendem, geklüftetem Fels und die Vertiefung der Kenntnisse zu den Zweiphasenfluss-Prozessen. Die ermittelten Ergebnisse der experimentellen Arbeiten erweitern und vertiefen den Kenntnisstand auf dem Gebiet der Zweiphasen-Strömungs- und Transportvorgänge in der geotechnischen Barriere Bentonit sowie in einer gering durchlässigen geklüfteten wasserführenden Granitformation. Die experimentellen Daten ermöglichen insbesondere eine verbesserte Beschreibung der hydraulisch wirksamen Prozesse im geologischen Nahfeld von untertägigen Strecken. Mit dem weiterentwickelten Rechenprogramm ROCKFLOW/ROCKMECH können zukünftig dreidimensionale Berechnungen von Zweiphasen-Strömungs- und Transportvorgängen in wasserführenden geklüfteten Gesteinen durchgeführt werden.

In einem weiteren Projekt wurden dazu Zweiphasenflussprozesse in Einzelklüften und Kluffnetzwerk-Gesteinsmatrix-Systemen untersucht und einer effizienten numerischen Simulation zugänglich gemacht. Das Verhalten der Zweiphasenströmungen in Kluffnetzwerken konnte voll gekoppelt mit dem Verhalten in der Gesteinsmatrix in einer Simulationssoftware gerechnet werden. Dabei wurden modernste numerische Verfahren (gemischt dimensionale Finite Volumen Verfahren, unstrukturierte Gitter, Adaptivität, Mehrgitterverfahren, Parallelisierung) zu einer effizienten Einheit mit Preprocessing (Gebietsgenerierung nach geostatistischen Vorgaben, Gittergenerierung) und Postprocessing (Visualisierung) verbunden.

5.2. Laufende Arbeiten

Deutsche Forschungsstellen beteiligen sich an Untersuchungen im Felslabor Grimsel und an Arbeiten im HRL Äspö. Die Zusammenarbeit erfolgte bisher in allen Experimentphasen des Felslabor Grimsel, unter anderem im Rahmen der Projekte GMT (Gas Migration Test), CRR (Colloid retention and retardation), FEBEX II (Full-scale High Level Waste Engineered Barriers Experiment), und dem CRR- Nachfolgeprojekt CFM (Colloid formation and migration).

Diese Arbeiten sollen somit insbesondere Beiträge zu dem Forschungsschwerpunkt „Geotechnisches Barriersystem“ liefern. Sie führen zu einer nachhaltigen Verbesserung des wissenschaftlichen Kenntnisstands und können unterstützend bei der Behandlung ähnlicher Systeme in den für Deutschland bevorzugt in Betracht zu ziehenden Wirtsgesteinen angewandt werden.

Insgesamt werden im Rahmen der internationalen Kooperationen nur noch ausgewählte Arbeiten im begrenzten Umfang durchgeführt.

6. FuE-Schwerpunkte und FuE-Themen

In den „*Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle*“ des BMU /BMU 2010/ finden sich folgende Erläuterungen:

- *„Das Endlagersystem besteht aus dem Endlagerbergwerk, dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich und aus den diesen Gebirgsbereich umgebenden oder überlagernden geologischen Schichten bis zur Erdoberfläche, soweit sie sicherheitstechnisch bedeutsam sind und damit im Sicherheitsnachweis zu berücksichtigen sind.“*
- *„Barrieren sind natürliche oder technische Komponenten des Endlagersystems. Barrieren sind beispielsweise die Abfallmatrizen, die Abfallbehälter, die Kammer- und Schachtverschlussbauwerke, der einschlusswirksame Gebirgsbereich (ewG) und die diesen ewG umgebenden oder überlagernden geologischen Schichten.“*

Diesen Erläuterungen liegt das Verständnis zu Grunde, dass Endlager nicht als Einzelstruktur aufzufassen sind, sondern, wie es der Systembegriff nahelegt, (Zitat Sicherheitsanforderungen des BMU) *„als eine Gesamtheit von Elementen, die so aufeinander bezogen sind und in einer Weise wechselwirken, dass sie als eine aufgaben-, sinn- oder zweckgebundene Einheit angesehen werden können und sich in dieser Hinsicht gegenüber der sie umgebenden Umwelt abgrenzen.“*

Verbunden damit ist die Komplexität des Gesamtsystems, wobei Komplexität allgemein die *„Eigenschaft eines Systems oder Modells bezeichnet, so dass sein Gesamtverhalten nicht beschrieben werden kann, selbst wenn man vollständige Informationen über seine Einzelkomponenten und ihre Wechselwirkungen besitzt.“*

Das Endlagersystem, seine Subsysteme und Komponenten sowie die darin ablaufenden Prozesse sind in ihrer Gesamtheit sowie im Detail zu charakterisieren und zu beschreiben. Eine den Relationen zwischen den Teilsystemen und den ablaufenden Prozessen entsprechende Bearbeitung bzw. Verknüpfung von Forschungsthemen wird somit erforderlich. Die Bearbeitung erfordert somit zunehmend multidisziplinäre Verbundvorhaben, in denen die Grundlage für den Safety Case, der letztlich auf einer Zusammenschau aller Ergebnisse und auf dem umfassenden Systemverständnis basiert, geschaffen wird.

In diesem Sinn werden die FuE-Schwerpunkte mit den enthaltenen FuE-Themen den drei Themenbereichen

- **Endlagersystem**
- **Systemverhalten und Systembeschreibung**
- **Querschnittsthemen mit Bezug zur Endlagerung**

zugeordnet.

Der erste Themenbereich umfasst Themen, die sich mit dem **Endlagersystem** als solchem und seinen Teilsystemen befassen, wobei ein Schwerpunkt auf dem Barriersystem liegt. Weitere FuE-Themen behandeln konzeptionelle und technische Aspekte.

Die FuE-Themen zum **Systemverhalten** und zur **Systembeschreibung** im zweiten Themenbereich orientieren sich an der zu realisierenden ganzheitlichen Beschreibung und Beurteilung des Endlagersystems. Sie umfassen die Bereitstellung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen und Kenntnisse zum Verhalten von Endlagerteilsystemen, die Ansätze zur Modellierung des Verhaltens und der dort ablaufender Prozesse sowie die erforderliche Berücksichtigung der Modellsysteme und deren Einschränkungen und Ungewissheiten. Letztlich soll daraus das Werkzeug für die systemanalytische Betrachtung (Safety Case) eines Endlagersystems zusammengestellt werden.

Im dritten Themenbereich **Querschnittsthemen mit Bezug zur Endlagerung** sind die Themen aufgeführt, die den wissenschaftlich-technischen FuE-Themen der ersten beiden Themenbereiche nicht unmittelbar zuzuordnen sind, aber die sich auf die Endlagerung auswirken und daher als wichtig anzusehen sind.

In diesem Förderkonzept wird zudem der vierte Themenbereich

- **Kernmaterialüberwachung**

mitgeführt. Dieser Themenbereich erfordert aufgrund der besonderen Struktur und Problematik der internationalen Kernmaterialüberwachung FuE-Arbeiten in den Themenbereichen Konzeptionelles, Technisch-methodisches und Politisch-institutionelles, weil all diese Aspekte für eine erfolgreiche Anwendung bei den Kernmaterialkontrollen zu beachten und zu behandeln sind. Aufgrund der globalen Bedeutung des Themas sind die Arbeiten zum einen in Forschungsnetzwerke einzubetten, die über diese vielfältige dafür notwendige Kompetenz verfügen, und zum anderen ist die Einbindung in eine multinationale Kooperation (Euratom, IAEA) bei den unterschiedlichen FuE-Aktivitäten vorzusehen.

Die aufgeführten FuE-Themen beziehen sich auf Arbeiten, die für die Endlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in den Wirtsgesteinen Steinsalz und Tonstein von Bedeutung sind und die zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht als geklärt angesehen werden können. Weil die zunehmend komplexeren Problemstellungen die gemeinsame Bearbeitung durch verschiedene FuE-Einrichtungen im Rahmen von Verbundvorhaben erfordern, in welche die jeweiligen Partner ihre spezifischen Kenntnisse und Erfahrungen einbringen, steigt der Aufwand zur Vorbereitung und Koordinierung. Andererseits wird so die Bearbeitung sehr komplexer Fragestellungen in relativ kurzen Zeiträumen möglich. Aufgrund der positiven Erfahrungen hinsichtlich Effizienz und Mitteleinsatz und wegen der fachlichen Erfordernisse zur interdisziplinären Zusammenarbeit wird diese Option künftig noch stärker eingesetzt werden.

Die noch erforderlichen wissenschaftlichen Arbeiten mit Bezug zum Wirtsgestein Steinsalz, die als Grundlage eines Sicherheitsberichts (Safety Case) für ein Endlager im Steinsalz zu realisieren sind, müssen ziel- und ergebnisorientiert durchgeführt werden. Bei vielen der FuE-Themen, in denen das Wirtsgestein Steinsalz aufgeführt ist, sind wegen des weit fortgeschrittenen Bearbeitungs- und Kenntnisstands nur Restarbeiten erforderlich.

Vergleichbar wichtig sind FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Tonstein. Zur Endlagerung im Wirtsgestein Tonstein soll unter Berücksichtigung internationaler Aktivitäten der Stand von Wissenschaft und Technik bereitgestellt werden, der die vertiefte Bearbeitung tonsteinbezogener Endlagerprojekte erlaubt.

Arbeiten zu spezifischen Komponenten von Endlagern in kristallinen Gesteinen (z. B. geotechnischen Barrieren) sollen aufgrund der genannten grundsätzlichen konzeptionellen Bedingungen mit geringer Priorität durchgeführt werden.

Da in Deutschland weder in Tonstein noch in kristallinen Gesteinen (Granit) Untertagelabors existieren, werden In-situ-Untersuchungen im Rahmen der internationalen Kooperationsvereinbarungen im Ausland durchgeführt.

Tonstein: Mont Terri / Schweiz, Bure (Departement Meuse-Haute Marne) / Frankreich

Granit: Felslabor Grimsel / Schweiz, HRL Äspö / Schweden, Standort Krasnojarsk / Russland

6.1. Endlagersystem

Konzepte, Technik und Demonstration

- Optimierung der Endlagerkonzepte für Wärme entwickelnde Abfälle in Steinsalz
- Entwicklung generischer Endlagerkonzepte für Wärme entwickelnde Abfälle in Tonstein
- Gegenüberstellung und Bewertung generischer Endlagerkonzepte anhand wissenschaftlich-technischer, sicherheitsanalytischer und sozialwissenschaftlicher Aspekte
- Weiterentwicklung des konzeptuellen Sicherheitsnachweises
- Entwicklung und Erprobung eines Einlagerungskonzeptes für unzerschnittene Brennstäbe in Bohrlöchern insbesondere im Steinsalz
- Prüfung der Übertragbarkeit der Konzepte von Einlagerungs-, Handhabungs- und Überwachungstechnik von Steinsalz auf Tonstein und kristalline Gesteine
- Entwicklung, Optimierung und Erprobung von Verfahren für die Überwachung von Endlagern während der Betriebsphase

Wirtsgesteinseigenschaften

- Erhebung, Beschreibung und Beurteilung der endlagerrelevanten Eigenschaften von Steinsalz und Tonsteinen insbesondere hinsichtlich des Schädigungs- und Verheilungsverhaltens sowie im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit
- Entwicklung und Verbesserung geophysikalischer Verfahren zur zerstörungsfreien Wirtsgesteinserkundung mit größerer Reichweite, insbesondere zur Detektion und Charakterisierung inhomogener Bereiche in Steinsalz und Tonstein
- Erhebung, Beschreibung und Beurteilung der Endlager relevanten Eigenschaften von Steinsalz und Tonsteinen hinsichtlich mikrobieller Effekte
- Überprüfung und Entwicklung von analytischen Methoden zur Charakterisierung von Inhomogenitäten und Übertragbarkeit effektiver Parameter auf größere Bereiche (Upscaling)

Abfälle und Gebinde

- Weiterentwicklung von Fixierungsmatrizes
- Bewertung der Relevanz chemotoxischer Abfallbestandteile für die Langzeitsicherheit

Geotechnische Barrieren

- Konzeption, Bau und Erprobung langzeitsicherer Abschlussbauwerke bzw. deren Komponenten für Endlager im Steinsalz
- Mitwirkung an Konzeption, Bau und Erprobung langzeitsicherer Abschlussbauwerke bzw. deren Komponenten in Tonstein
- Entwicklung von Konzepten für Verschlussysteme im Bereich der Kontakt- und Auflockerungszone mit Nachweis der Barrierewirkung
- Ingenieurtechnischer Nachweis der Langzeit-Barrierewirkung der geotechnischen Barrieren
- Untersuchung und Auswahl geeigneter Verfüll- und Puffermaterialien für Endlager in Steinsalz und Tonstein, insbesondere hinsichtlich des Verhaltens gegenüber Gasen und Flüssigkeiten sowie ihres Sorptionsverhaltens
- Auswahl und Untersuchung geeigneter Materialien zur Rückhaltung von nicht oder kaum sorbierenden, jedoch ggf. Dosis bestimmenden, Radionukliden im Nahbereich

6.2. Systemverhalten und Systembeschreibung

Wirtsgestein

- Untersuchung und Modellierung des geomechanischen, geochemischen und thermo-hydromechanischen Verhaltens von Steinsalz und Tonsteinen
- Untersuchungen zur Beeinträchtigung des Isolationspotenzials der geologischen Barriere durch geogene und technogene Einwirkungen, auch unter Berücksichtigung der Entstehung und Ausbreitung von Gasen
- Untersuchungen und Modellierung der Radionuklidrückhaltung unter Berücksichtigung von chemischen und mikrobiologischen Prozessen

Nahfeldgeochemie

- Untersuchung der chemischen, physikalischen und mikrobiologischen Effekte und Prozesse im Nahfeld mit Auswirkung auf die Mobilität von Radionukliden und Entwicklung von Modellen zur Beschreibung der ablaufenden Prozesse in Steinsalz und Tonstein
- Absicherung und Erweiterung der thermodynamischen Datenbasis (Nahfeldbedingungen) für Actiniden und Spaltprodukte

Verhalten der technischen und geotechnischen Barrieren

- Untersuchungen zur Wechselwirkung von verglasten Abfällen mit Tonstein und Puffermaterialien und Entwicklung Prozess beschreibender Modelle
- Modellierung und Quantifizierung des Radionuklid-Quellterms anhand von Korrosionsuntersuchungen an Abfallprodukten und abgebrannten Brennelementen (UO₂, MOX, MTR, HTR)
- Untersuchung der Entstehung, der Freisetzung, des Transports und des Verbleibs von Gasen und Entwicklung Prozess beschreibender Modelle
- Auswirkungen von Gasentwicklung auf die Funktion von Versatzmaterialien, Puffermaterialien und Verschlussbauwerken
- Modellierung des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken bzw. deren Komponenten

Szenarien

- Zusammenstellung und Bewertung von FEP's (features, events, processes) für Endlager in den Wirtsgesteinen Steinsalz und Tonstein
- Systematische Herleitung, Klassifizierung und Bewertung von Szenarien für die zukünftige Entwicklung von Endlagern in Steinsalz und Tonstein

Methoden, Modelle und numerische Simulation

- Weiterentwicklung und Aktualisierung der Methoden und Rechenprogramme für Langzeitsicherheitsanalysen, insbesondere auf der Grundlage definierter Szenarien, modifizierter Entsorgungskonzepte und neuer Erkenntnisse aus FuE-Arbeiten unter Berücksichtigung der internationalen Entwicklung
- Verbesserung Prozess beschreibender Modelle, insbesondere durch Entwicklung gekoppelter Modelle

Qualifizierung von Modellen und Reduzierung von Ungewissheiten

- Anwendung existierender oder Entwicklung neuer Methoden und Verfahren für die Qualifizierung von Modellen zur Beschreibung thermischer, geomechanischer, hydraulischer und (geo)chemischer Prozesse (THMC-Kopplung)
- Qualifizierung von Grundwasserströmungs- und Transportmodellen durch Labor- und In-situ-Untersuchungen
- Überprüfung der Übertragbarkeit der Aussagen von Laboruntersuchungen auf Technikkums- und reale Systeme
- Verbesserung der Aussagesicherheit von Langzeitsicherheitsanalysen
- Entwicklung von Methoden zum Abbau von Ungewissheiten
- Untersuchung relevanter Prozesse bzw. relevanter Indikatoren in natürlichen oder historisch-anthropogenen Systemen, die zur Erhöhung des Vertrauens in das Prozessverständnis oder die Simulationsergebnisse beitragen

Systemanalysen

- Weiterentwicklung der Systemanalyse für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle im Steinsalz
- Orientierende Systemanalyse für Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in Tonsteinen

6.3 Querschnittsthemen mit Bezug zur Endlagerung

Konzeptuelle Entsorgungsoptionen

- Auswirkung von P&T-Szenarien (weniger Wärme entwickelnde, zusätzliche vernachlässigbar Wärme entwickelnde Abfälle) auf Endlagerkonzepte
- Transmutationspotenzial und Sicherheit von P&T
- Endlagerkonzepte und Rückholbarkeit

Management- und sozialwissenschaftliche Aspekte

- Konzepte und Methoden des Wissenserhalts und Wissensmanagements
- Datenerzeugung und -management
- Governance

6.4. Kernmaterialüberwachung

C1 Konzeptionelle Aspekte

- Weiterentwicklung des Zusatzprotokolls
- Safeguards für die Endlagerung abgebrannter Brennelemente
- Neue Inspektionsregime
- Berücksichtigung von Audit-Prinzipien in Safeguardsansätzen
- Neue Safeguards-Konzepte für den nuklearen Brennstoffkreislauf

C2 Technisch-methodische Aspekte

- Überwachung mittels Fernerkundung
- Umweltbeobachtung
- Geophysikalische Messverfahren
- Neue Verifikationstechniken
- Neue elektronische Überwachungssysteme und Datenfernübertragung
- Weiterentwicklung digitaler Kamera- und Siegelssysteme und Einrichtung für eine Fernabfrage
- Informationsanalyse und Informationsverarbeitung für Safeguards

C3 Politisch-institutionelle Aspekte

- Proliferationsresistenz
- Multinationale Anlagen
- Fissile Material Production Cut-off Treaty (FMCT)

7. Literatur und Referenzen

- /AkEnd 2002/ Auswahlverfahren für Endlagerstandorte – Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte, Köln, Dezember 2002
- /Altmaier et al. 2011/ **Altmaier M., Brendler V., Bube Ch., Marquardt Ch., Moog H., Richter A., Scharge T., Voigt W., Wilhelm S., 2011.** THEREDA – Thermodynamic Reference Database, Abschlussbericht zu BMWi-Projekt FKZ 02E10126, 02E10136, 02E10146, GRS-265
- /BfS 2005/ Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Wirtsgesteine im Vergleich. Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenschutz, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 2005
- /BMU 2010/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit „Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle“, Berlin, 30. September 2011,
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/sicherheitsanforderungen_endlagerung_bf.pdf
- /Bund 2000/ „Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vom 14.06.2000“
<http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/atomkonsens.pdf>
- /Bechthold et al. 2003/ **Bechthold W., Smailos E., Heusermann S., Bollingerfehr W., Bazargan-Sabet B., Rothfuchs T., Kamlot P., Grupa J., Olivella S., Hansen F.D., 2004.** Backfilling and Sealing of Underground Repositories for Radioactive Waste in Salt (BAMBUS II Project)”, Final Report, EUR 20621 DG Research, Brussels
- /Becker et al. 2008/ **Becker D. A., Hirsekorn R. P., 2008.** Modelling of Corrosion-Induced Processes in Emplacement Boreholes and Drifts, Final Report BMWi-Project FKZ 02E 9844
- /Brasser et al. 2008/ **Brasser T., Droste J., Müller-Lyda I., Neles J., Sailer M., Schmidt G., Steinhoff M., 2008.** Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland, GRS-247, ISBN 978-3-939355-22-9
- /Brücher et al. 2001/ **Brücher H., Curtius H., Fachinger J., Kaiser G., Mazeina L., Nau K., 2001** Untersuchungen zur Radionuklidfreisetzung und zum Korrosionsverhalten von bestrahltem Kernbrennstoff aus Forschungsreaktoren unter Endlagerbedingungen, Schlussbericht BMWi-Projekt 02E9108, Berichte des Forschungszentrums Jülich 4104,ISSN 0944-2952
- /Cadelli et al. 1988/ **Cadelli N., Cottone G., Orlowski S., Bertozzi G., Girardi F., Saltelli A. 1988.** PAGIS: Performance assessment of geological isolation systems for radioactive waste. In: (Fourth edition ed.), Report EUR 11775 EN, EC, Luxembourg (1988)
- /Closs 1980/ **Closs K D., 1980.** Vergleich der verschiedenen Entsorgungsalternativen und Beurteilung ihrer Realisierbarkeit. Studie 'Entsorgungsalternativen'. Kernforschungszentrum Karlsruhe. KfK-3000, 1980, Karlsruhe
- /Eva 2000/ Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung in Deutschland. Bericht der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) berufenen Arbeitsgruppe (Evaluierungskommission), Bonn, 21. Januar 2000
http://www.ptka.kit.edu/downloads/BMWi_SicherheitsEndlagerforschung_053681.pdf
- /Fein et al. 2008/ **Fein E., Kröhn K. P., 2008.** Modelling of Field-Scale Pollutant Transport, Final Report, GRS-231
- /Filbert et al. 2010/ **Filbert W., Bollingerfehr W., Heda M., Lerch C., Niehues N., Pöhler M., Schulz J., Schwarz T., Toussaint M., Wehmann J., 2010.** Optimization of the Direct Disposal Concept by Emplacing SF Canisters in Boreholes, Final Report, BMWi-Projekt FKZ 02E9854

- /Geckeis 2010/ **Geckeis H. 2010.** Research on geochemical aspects of nuclear waste disposal, in: Proceedings of the US-German Workshop on Salt Repository Research, Design, and Operation, May 25-27, 2010, Canton, Mississippi, USA, Hrsg. W. Steininger, 2010, KIT Scientific Report
- /Hampel et al. 2010/ **Hampel A., Günther R.-M., Salzer K., Minkley W., Pudewills A., Leuger B., Zapf D., Rokahr R., Herchen K., Wolters R., Düsterloh U. 2010.** Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz, Synthesericht BMBF-Projekt, FKZ 02C1577-02C1617
- /Hirse Korn et al. 1991/ **Hirse Korn R.-P., Nies A., Rausch H., Storck R. 1991.** Performance Assessment of Confinements for Medium-Level and Alpha-Contaminated Waste. PACOMA Project. Rock Salt Option. Final Report, TL 7/91, GSF 12/91, März 1991
- /Hoth et al. 2007/ **Hoth P., Wirth H., Reinhold K., Bräuer V., Krull P., Feldrappe H. 2007.** Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands, Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen; Berlin/Hannover, April 2007
- /Kamlot et al. 2002/ **Kamlot P., Manthei G., Bock H., 2002.** Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Abschlussbericht, BMWi-Vorhaben, FKZ, 02E9158, 2002
- /Kessler 1998/ **Kessler G, 1998.** German Direct Disposal Project Special, Nuclear Technology, Vol. 121, no. 2, February. 1998
- /KfK 1989/ Projektgruppe Andere Entsorgungstechniken „Systemanalyse Mischkonzept (SAM)“, Hauptband, KWA-Nr. 2190 A1, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, 1989
- /Kienzler et al. 2001/ **Kienzler, B., Loida, A. (Hrsg.), 2001.** Endlagerrelevante Eigenschaften von hochradioaktiven Abfallprodukten – Charakterisierung und Bewertung – Empfehlungen des Arbeitskreises HAW-Produkte; Wissenschaftliche Berichte FZKA 6651, Institut für Nukleare Entsorgungstechnik, Forschungszentrum Karlsruhe
- /Kim et al. 2007/ **Kim M.A., Priemyshev A., Breban D.C., Panak P.J., Yun J.I., Kim J.I., 2007.** Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden, Schlussbericht zu BMWi-Projekt FKZ 02E9763
- /Kockel et Krull 1995/ **Kockel, F. and Krull, P. (1995):** Endlagerung stark Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Salzformationen. – Report der Bundesanstalt für Geowissenschaften and Rohstoffe, Hannover/Berlin. 1995
- /Kolditz 1993/ **Kolditz H., 1993.** Herstellung tiefer Großbohrlöcher zur Endlagerung umweltgefährdender Abfallstoffe im Salz, Glückauf 129, 2, Febr. 1993
- /Kröhn et al. 2009/ **Kröhn K-P., Stührenberg D., Herklotz M., Heemann U., Lerch Ch., Xie M., 2009.** Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz REPOPERM – Phase I, Schlussbericht, GRS – 254, ISBN 978-3-939355-29-8
- /Krone et al. 2009/ **Krone J., Tholen M., Kreienmeyer M., Filbert W., Bollingerfehr W., Weber J.R., Keller S., Heusermann S., Wolf J., Mönig J., Buhmann D., 2008.** Review and Appraisal of the Tolls available for a Safety Assessment of Final Repositories for HLW (ISIBEL), Peine, Schlussbericht, Hauptband, BMWi-Projekt FKZ 02E10055
- /Marquardt 2000/ **Marquardt Chr. (Hrsg.), 2000.** Influence of humic acids on the migration behavior of radioactive and non-radioactive substances under conditions close to nature. Final Report, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6557

- /Marquardt 2008/ **Marquardt Chr. (Hrsg.), 2008.** Migration of Actinides in the System Clay, Humic Substances, Aquifer Wissenschaftliche Berichte FZKA 7407
- /Marx 1998/ **Marx G., 1998.** Bestimmung von Löslichkeitsprodukten endlagerrelevanter Elemente in gesättigten Salzlösungen in Gegenwart von Hydroxylapatit, Abschlussbericht zum BMBF-Projekt FKZ 02E8030
- /Mengel 2005/ **Mengel K., 2005. Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten,** Schlussbericht BMBF-Projekt, FKZ 02C0841
- /Michel et al. 2008/ **Michel R., Riebe B., Meleshyn A., Dultz S., Schampera B., 2008.** Stabilität von Organotonen als Anionenadsorber unter Endlagerbedingungen – Experiment und Modellierung, Abschlussbericht zum BMWi-Projekt FKZ 02E10025
- /Mönig 1997/ **Mönig J., 1997.** Realistische Abschätzung der Strahlenschädigung von Steinsalz bei Einlagerung von HAW in Bohrlöchern, Abschlussbericht zum BMFT-Projekt FKZ 02E 8825, GRS 147
- /Moll et al. 2009/ **Moll H., Glorius M., Barkleit A., Roßberg A., Bernhard G., 2009.** The Mobilization of Actinides by Microbial Ligands Taking into Consideration the Final Storage of Nuclear Waste, Schlussbericht BMWi-Projekt 02E9985, FZD-522
- /Siemann 2007/ **Siemann M., 2007.** Herkunft und Migration mineralgebundener Gase der Zechstein 2 Schichten in Zielitz, Kali und Steinsalz 3/2007
- /NAS 1957/ http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10294
- /NEA 1991/ RWMC-1991, Disposal of Radioactive Waste: Can Long-term Safety be Evaluated? An International Collective Opinion. OECD Nuclear Energy Agency, Paris, 1991
- /Noseck 2006/ **Noseck U., Schönwiese D., Becker D. A., 2006,** Radionuclide Transport and Retention in Natural Rock Formations - Heselbach site. Final Report, GRS-217
- /Noseck 2008/ **Brasser T., Bletz U., Schmidt G., Noseck U., 2008.** Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland, Anhang Natürliche Analoga, GRS-247, ISBN 978-3-939355-22-9
- /Noseck 2009/ **Noseck U., 2009.** Fundamental Processes of Radionuclide Migration in Rock Salt Formations, GRS-255
- /PAGIS 1998/ PAGIS, Performance Assessment of Geological Isolation Systems for Radioactive Waste. Disposal in Salt formations, EUR 11778 EN, GSF-Report 23/88, 1988
- /Pöhler et al. 2010/ **Pöhler M., Amelung P., Bollingerfehr W., Engelhardt H.J., Filbert W., Tholen M., 2010.** Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tonstein(ERATO), Abschlussbericht zum BMWi-Projekt FKZ 02E10286, Peine
- /PSE 1985/ PSE, Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung, Zusammenfassender Abschlussbericht (4 Bände) und 19 Fachbände, 1985
- /PT 1998/ Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen (1997-2001). Förderkonzept des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Hrsg. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Referat 414, und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger des BMBF für Entsorgung (PTE), Forschungszentrum Karlsruhe, April 1998
- /PT 2001/ Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2002-2006), Förderkonzept des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Nov. 2001. Hrsg. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Ref. III B3, und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger des BMBF und BMWi für Wassertechnologie und Entsorgung (PTWt+E), Forschungszentrum Karlsruhe

- /PT 2007/ Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2007 – 2010), Förderkonzept des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Dez. 2007, Hrsg. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Ref. III B3, und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA WTE)
- /PT 2008a/ Tagungsband zum Workshop „40 Jahre Forschung und Entwicklung für die sichere Endlagerung hochradioaktiver Abfälle: Wo stehen wir?“, Peine, 10./11. Juni 2008, Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA-PTE Nr. 11
- /PT 2008b/ Achstes Statusgespräch zu FuE-Vorhaben auf dem Gebiet der Entsorgung in tiefen geologischen Formationen“, 6./7.Mai 2008, Karlsruhe, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA-PTE Nr. 10, ISSN 1430-6751
- /Rothfuchs et al. 1988/ **Rothfuchs T., Stippler R., Duijves K., 1988.** Das HAW-Projekt - Demonstrationseinlagerung hoch-radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse. IfT 11/88
1. Halbjahresbericht 1988 zum EG-Vertrag FI-1W-0003-D(B) (77339)
- /Rothfuchs 2011/ **Rothfuchs T., 2011.** Verschlussysteme in Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle in Salzformationen, Workshop der GRS in Zusammenarbeit mit dem Projektträger Karlsruhe PTKA-WTE, Braunschweig, 24. – 25. August 2010, Zusammengestellt von Tilmann Rothfuchs, Januar 2011, GRS-267
- /RSK 2005/ **Reaktor-Sicherheitskommission.** Stellungnahme „Sicherheitstechnische Aspekte konzeptioneller Fragestellungen zur Endlagerung von bestrahlten Brennstäben mittels Kokillen in Bohrlöchern anhand eines Vergleiches mit dem Konzept „Streckenlagerung von dickwandigen Behältern“, 31.03.2005 (380. RSK-Sitzung)
- /RSK 2006/ **Reaktor-Sicherheitskommission.** Stellungnahme zu „Strahlenschäden im Steinsalz“, 391. Sitzung 9.3.2006
- /Rübel et al. 2007/ **Rübel A., Mönig J., 2007.** Gase in Endlagern. Workshop der GRS in Zusammenarbeit mit dem PTKA-WTE, Berlin, 17.-18. April 2007, Tagungsband, GRS-242
- /Rübel et al. 2010/ **Rübel A., Becker D. A., Fein E., Ionescu A., Lauke T., Mönig J., Noseck U., Schneider A., Spieß S., Wolf J., 2010.** Development of PA Methodologies. Final Report BMWi-Projekt 02E 10276, GRS-259 2010
- /Smailos et al.1989/ **Smailos E., Fiehn B., 1989.** Korrosionsuntersuchungen an der Werkstoffkombination des POLLUX-Behälters zur Direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente in Steinsalzformationen, KfK 4552
- /Storck 1993/ **Storck R., 1993.** Langzeitsicherheitsnachweis unter Berücksichtigung von Unsicherheiten, atw - <internationale Zeitschrift für Kernenergie,1993
- /Snyers 2008/ **Snyers A., 2008.** NF-Pro-Project, Final Report, EU-23730, Brussels, 2008
- /Wallner et al. 2005/ **Wallner M., Mrugalla S., Hammer J., Brewitz W., Fahrenholz Ch., Fein E., Filber W., Haverkamp B., Jobmann M., Krone J., Lerch Ch., Ward P., Weiß E., Ziegenhagen J., Gupalo T., Kamnev E., Konovalov V., Lopatin V., Milovidov V., Prokopova O., 2005.** Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein (ASTER), Schlussbericht zu BMWi-Verbundprojekt FKZ 02E9612 und 02E9622
- /Wolf 2011/ **Wolf J., Noseck U., Meleshyn A., 2011.** Anwendbarkeit von Natürlichen Analoga für den Langzeitsicherheitsnachweis für ein HAW-Endlager im Salzgestein, Teilbericht BMWi-Projekt ISIBEL II, FKZ 02E10720

Anhang

A1 Verzeichnis verwendeter Abkürzungen

AB	Altbergbau
AtG	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren. AtG - Atomgesetz
BAMBUS	Backfilling and Sealing of Underground Repositories for Radioactive Waste in Salt (EU-Projekt)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung (früher BMFT: Bundesministerium für Forschung und Technologie)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
DBE	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern
DBETEC	DBE-TECHNOLOGY GmbH (Tochtergesellschaft der DBE)
ELA	Endlager / Endlagerung
EMOS	Endlager-Modellierung von Szenarien
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
IGD-TP	Implementing Geological Disposal – Technology Platform
IAEA	International Atomic Energy Agency
INE	Institut für Nukleare Entsorgung im Karlsruhe Institut für Technologie
KMÜ	Kernmaterialüberwachung
NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NAWG	Natural Analogues Working Group
OECD-NEA	Organisation for Economic Cooperation and Development - Nuclear Energy Agency
RWMC	Radioactive Waste Management Committee (der OECD-NEA)
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB
UTD	Untertagedeponie / Untertagedeponierung
UTV	Untertageversatz / Untertageversatzbergwerke

A2 Verzeichnis laufender Forschungsvorhaben (Projektförderung)

Im Folgenden sind die laufenden Forschungsvorhaben (Stand 12/2010) für den Bereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle und der Kernmaterialüberwachung aufgelistet (BMW-finanziert). Bei den Angaben zu den einzelnen Vorhaben handelt es sich um Förderkennzeichen, Laufzeit, bearbeitende Institutionen und Thema. Es ist zu beachten, dass die Bezeichnung der Schwerpunktthemen nach 2010 nicht mehr konsistent beibehalten werden konnte.

A Weiterentwicklung von Endlagerkonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten

A1 Abfallcharakterisierung und –klassifizierung

A2 Wissenschaftliche Grundlagen für Sicherheitsanforderungen

A3 Weiterentwicklung von Einlagerungs-, Handhabungs- und Überwachungstechniken

02E10639 01/09 bis 12/12	DBE Technology GmbH	Untersuchung zu Rahmenbedingungen und Aufbau eines Endlager-Monitoring für hochradioaktive Abfälle in verschiedenen Wirtsformationen und Phasen einer Endlagerentwicklung unter Berücksichtigung von Machbarkeit und Unsicherheiten (MonA)
------------------------------------	------------------------	--

A4 Charakterisierung und Eigenschaften potentieller Wirtsgesteinsformationen

02E10086 08/06 bis 12/11	DBE Technology GmbH	Untersuchungen zur Auswirkung einer Temperaturerhöhung in Tonformationen in Deutschland im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit eines Endlagers und irreversible Veränderungen der potenziellen Wirtsformation
------------------------------------	------------------------	--

A5 Entwicklung geotechnischer Barrieren

B Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern

B1 Szenarientwicklung

02E10719 12/09 bis 05/12	GRS Braunschweig	Komplettierung des Instrumentariums zur Technischen Realisierbarkeit und Sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar (KOMTESSA)
02E10729 12/09 bis 05/12	DBE Technology GmbH	Komplettierung des Instrumentariums zur Technischen Realisierbarkeit und Sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar (KOMTESSA)

B2 Verhalten der Wirtsgesteinsformation

02E10377 05/07 bis 12/11	GRS Braunschweig	Untersuchung der THM-Prozesse im Nahfeld von Endlagern in Tonformationen
02E10669 05/09 bis 04/12	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado 2
02E10679 05/09 bis 04/12	KIT (Großforschung)	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kolorado 2
02E10810 10/10 bis 01/14	Dr. Andreas Hampel	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermomechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV 1: Dr. Andreas Hampel)
02E10820 10/10 bis 09/13	Technische Universität Clausthal	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermomechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV 5: TUC)
02E10830 10/10 bis 09/13	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermomechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV 2: IfG)
02E10840 10/10 bis 09/13	KIT (Großforschung)	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermomechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV 3: KIT-INE)
02E10850 10/10 bis 09/13	Universität Hannover	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermomechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV4: LUH-IUB)
02E10860 10/10 bis 09/13	Technische Universität Braunschweig	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermomechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV 6: TUBS)

B3 Chemische und physikalische Effekte im Nahfeld

02E10075 10/05 bis 03/12	GRS Braunschweig	Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lösungen bei Temperaturen bis 90°C (Kurztitel: FeT90)
02E10608 11/08 bis 12/11	GRS Braunschweig	Werkzeuge und Daten für die Geochemische Modellierung, Kurztitel: WeDa
02E10618 01/09 bis 08/12	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf	Mikrobielle Diversität im Tongestein (Opalinus-Ton) und Wechselwirkung dominanter Mikroorganismen mit Actiniden
02E10699 10/09 bis 09/12	KIT (Großforschung)	Verbundprojekt: Entwicklung einer einheitlichen, konsistenten thermodynamischen Referenzdatenbasis für Sicherheitsanalysen zur Endlagerung nuklearer und nicht-nuklearer Abfälle – THEREDA-II; Teilprojekt KIT: Thermodynamische Datenbasis für Radionuklide
02E10709 10/09 bis 09/12	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Verbundprojekt: Entwicklung einer einheitlichen, konsistenten thermodynamischen Referenzdatenbasis für Sicherheitsanalysen zur Endlagerung nuklearer und nicht-nuklearer Abfälle – THEREDA-II; Teilprojekt TUBAF: Ozeanische Salze und Carbonate
02E10770 07/10 bis 06/13	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld eines Endlagers und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA)
02E10780 07/10 bis 06/13	Forschungszentrum Jülich GmbH	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld eines Endlagers und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA)
02E10790 07/10 bis 06/13	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V.	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld eines Endlagers und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA)
02E10800 07/10 bis 06/13	KIT (Großforschung)	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld eines Endlagers und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA)

B4 Verhalten von geotechnischen Barrieren

02E9894 01/04 bis 12/11	GRS Braunschweig	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager - SB-Experiment - im Mt. Terri Untertage-labor - Hauptprojekt -
02E9944 08/04 bis 12/11	GRS Braunschweig	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt "Prototype Repository" - Phase 2
02E10447 10/07 bis 12/12	IBeWA Wilsnack & Partner	Zerstörungsfreie In-situ-Permeabilitätsmessung

02E10649 04/09 bis 09/11	DBE Technology GmbH	Vergütung der Auflockerungszone im Salinar (VerA)
02E10659 02/09 bis 03/13	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Laboruntersuchungen des Gastransports in Trennflächen eines Verschlussbauwerkes für ein Endlager zwischen Bentonitformsteinen und zum Gebirge
02E10689 09/09 bis 12/13	GRS Braunschweig	Long-Term Performance of Engineered Barrier Systems, Kurztitel: PEBS
02E10730 05/10 bis 04/14	DBE Technology GmbH	Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager
02E10740 05/10 bis 04/14	GRS Braunschweig	Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager
02E10880 12/10 bis 05/13	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Zusammenhang von Chemismus und mechanischen Eigenschaften des MgO-Baustoffs

B5 Verhalten von geologischen Barrieren

02E10156 07/06 bis 06/11	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton
02E10166 09/06 bis 06/11	Universität Mainz	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton
02E10176 07/06 bis 06/11	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton
02E10186 07/06 bis 06/11	Technische Universität München	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton
02E10196 09/06 bis 06/11	Universität des Saarlandes	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton
02E10206 07/06 bis 06/11	KIT (Großforschung)	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton
02E10216 09/06 bis 06/11	Universität Potsdam	Verbundprojekt Actinidenmigration im natürlichen Tongestein: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Tonorganika auf die Wechselwirkung von U und Am im Ton
02E10417 06/07 bis 06/11	Technische Universität Dresden	Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit der Komplexbildung und Sorption dreiwertiger Actinide Am(III), Pu(III) im System Actinid-NOM-natürliches Tongestein-Aquifer

B6 Methodenentwicklung und Rechenprogramme für Sicherheitsbewertungen

02E10326 10/06 bis 03/11	Universität Frankfurt	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d3f und r3t
02E10336 10/06 bis 03/11	GRS Braunschweig	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d3f und r3t
02E10518 10/08 bis 03/12	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Realitätsnahe Einbindung von Sorptionsprozessen in Transportprogramme für die Langzeitsicherheitsanalyse (ESTRAL) - Teilvorhaben 1
02E10528 10/08 bis 03/12	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf	Verbundprojekt: Realitätsnahe Einbindung von Sorptionsprozessen in Transportprogramme für die Langzeitsicherheitsanalyse (ESTRAL) - Teilvorhaben 2
02E10548 08/08 bis 07/12	GRS Braunschweig	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern - WiGru 6
02E10558 10/08 bis 09/12	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Abbildungen von Inhomogenitäten bei der Strömungs- und Transportmodellierung mit d3f und r3t - Teilprojekt 1 - Kurztitel A-DuR -
02E10568 10/08 bis 09/12	Universität Frankfurt	Verbundprojekt: Abbildungen von Inhomogenitäten bei der Strömungs- und Transportmodellierung mit d3f und r3t - Teilprojekt 2 - Kurztitel A-DuR -
02E10578 10/08 bis 09/12	Universität Jena	Verbundprojekt: Abbildungen von Inhomogenitäten bei der Strömungs- und Transportmodellierung mit d3f und r3t - Teilprojekt 3 - Kurztitel A-DuR -
02E10588 10/08 bis 09/12	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ	Verbundprojekt: Abbildungen von Inhomogenitäten bei der Strömungs- und Transportmodellierung mit d3f und r3t - Teilprojekt 4 - Kurztitel A-DuR -

B7 Validierung von Modellen, Unsicherheitsanalyse

02E10750 07/10 bis 01/14	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaussage zu HAW-EndLagersystemen in magmatischen Wirtsgestein - Kurztitel: URSEL
02E10760 07/10 bis 01/14	DBE Technology GmbH	Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaussage zu HAW-EndLagersystemen in magmatischen Wirtsgestein - Kurztitel: URSEL

NN Evaluierung Forschungsaktivitäten

02E10870 10/10 bis 11/11	Öko-Institut e.V.	Instrumente, Bedarf und Potentiale für Wissensmanagement in der Endlagerforschung
------------------------------------	-------------------	---

02E10890 11/10 bis 10/13	GRS Braunschweig	Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz - VIRTUS
02E10900 11/10 bis 10/13	DBE Technology GmbH	Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz - VIRTUS
02E10910 11/10 bis 10/13	Bundesanstalt für Geowissen- schaften und Rohstoffe (BGR)	Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz - VIRTUS

C Anpassung und Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung an die Bedingungen der Direkten Endlagerung

In der folgenden Aufstellung sind auch Vorhaben enthalten, die im Rahmen des Gemeinsamen Programms von BMBF und IAEO für die technische Entwicklung und weitere Verbesserung der IAEO-Sicherheitsmaßnahmen durchgeführt werden. Diese Vorhaben sind mit GP abgekürzt. Die nachfolgende Zahl bezieht sich auf die laufende Nummer des Gemeinsamen Programms.

C1 Erstellung und Anpassung von Überwachungskonzepten

GP-Nr. A.29	Nuclear Safeguards for Future Technologies
GP-Nr. A.35	Application of Safeguards to Geological Repositories (AS-TOR), Group of Experts
GP-Nr. A.36	Determination of Decommissioned Status of Facilities
GP-Nr. A.38	Umbrella Task: Support for Novel Technologies

C2 Neue Techniken

02W6243 08/03 bis 04/09	Forschungszentrum Jülich GmbH	Institutionelle und technologische Weiterentwicklung von internationalen Kernmaterialkontrollen
GP-Nr. B.21		Use of Satellite Imagery Data for Geological Repositories Monitoring
GP-Nr. B.22		Signatures of Nuclear Fuel Cycle Related Processes (Satellite Imagery/Space Borne Remote Sensing Data)

C3 Aufnahme, Auswertung, Zusammenführung und Fernüberwachung von Daten

GP-Nr. D.27		Entwicklung eines neuen elektronisch - optischen Siegels mit Integrationsmöglichkeiten über VXI-Bus
GP-Nr. D.32		Passive Neutron Method for Verification of Spent Fuel in Sealed Multi-element Casks
GP-Nr. D.35		Next Generation Camera Module and Server-based Surveillance Systems

A3 Verzeichnis abgeschlossener Forschungsvorhaben (Projektförderung)

In der folgenden Liste sind abgeschlossene Forschungsvorhaben (Stand 12/2010) zusammengestellt, die ab 1980 durch BMBF und ab 1999 durch BMWA bzw. BMWi auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle und Kernmaterialüberwachung gefördert wurden. Der größte Teil aller Vorhaben, die bis Ende 1995 im Rahmen des FuE-Programms Direkte Endlagerung durchgeführt wurden, sind unter A3 „Weiterentwicklung von Einlagerungs-, Handhabungs- und Überwachungstechniken“ zusammengefasst. Es ist zu beachten, dass die Bezeichnung der Schwerpunktthemen nach 2010 nicht mehr konsistent beibehalten werden konnte.

Bei den Angaben zu den einzelnen Vorhaben handelt es sich um Förderkennzeichen, Laufzeit, bearbeitende Institution und Thema.

A WEITERENTWICKLUNG VON ENDLAGERKONZEPTIONEN UNTER SICHERHEITSGESICHTSPUNKTEN

A1 Abfallcharakterisierung und –klassifizierung

KWA 5215/7 04/86 bis 06/88	Siemens	Untersuchungsprogramm zum Verhalten abgebrannter Brennelemente bei starken mechanischen Einwirkungen
KWA 5601/4 01/86 bis 12/89	BAM	Weiterentwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens zur Qualitätskontrolle von zementierten LAW- und MAW-Abfällen
KWA 5602/5 04/86 bis 06/88	Battelle	Untersuchungen zum Fraktionierungsverhalten und zur Aerosolbildung beim Absturz von Gebinden mit hochradioaktivem Abfall im Endlager
KWA 5902/7 10/89 bis 05/90	Battelle	Untersuchung von Arbeiten auf dem Gebiet Gebindeabsturz und Aerosolfreisetzung im Endlager
02E8080/4 06/90 bis 02/91	Battelle	Theoretische Voruntersuchung und Bewertung des Wissensstandes zum Bruchverhalten und zur Aktivitätsfreisetzung von HTR-BE im Hinblick auf Störfälle mit Gebindeabsturz im Endlager
02E8231/9 10/90 bis 12/93	Institut für Energetik und Umwelt (IfE)	Bestimmung von Leitnucliden und Produkteigenschaften endlagernder radioaktiver Abfälle
02E8411/7 10/90 bis 12/93	Battelle	Zerstörungsfreie Feststellung von Füllstand, freien Flüssigkeiten und Gasen in Abfallgebinden mit nicht-nuklearen Prüfmethoden
02E8623 10/93 bis 03/98	Uni Bonn	Entwicklung und Erprobung radiochemischer Verfahren für die Bestimmung reiner Alpha- und Beta-Strahler im Radionuklidinventar radioaktiver Abfälle

A2 Wissenschaftliche Grundlagen für Sicherheitsanforderungen

02E8442 04/92 bis 06/95	NOELL	Untersuchungen zur Aussagefähigkeit von Prüfkriterien an nichtmetallischen Beschichtungen für Anlagen und Behälter zur Entsorgung radioaktiver Stoffe
02E8684 01/94 bis 05/96	DBE	FuE-Arbeiten zu Sicherheitsbetrachtungen für ein hypothetisches Endlager im tiefen geologischen Untergrund im kristallinen Gestein
FZKA-PTE Nr. 3 1994 bis 1996	FZK	GEISHA: Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten in Salz und Hartgestein
02E8694 10/94 bis 09/95	Stoller	Stand von Forschung und Entwicklung Rußlands und den anderen GUS-Staaten auf dem Gebiet der Endlagerung wärmeerzeugender radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen
02E9087 10/97 bis 06/99	DBE	Ein neuer Ansatz zur Bewertung der Wirksamkeit von Barrieren im Endlager
02E9350 05/00 bis 03/01	PanGeo	Vergleichende Bewertung von Entsorgungsoptionen für radioaktive Abfälle
02E9511 08/01 bis 12/04	DBE Technology GmbH	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)
02E9521 08/01 bis 06/06	DBE Technology GmbH	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)
02E9632 (A4, B7) 04/02 bis 02/06	Technische Universität Clausthal	Laborative und numerische Grundlagenuntersuchungen zur Übertragbarkeit von Stoffmodellansätzen und EDV-Software für Endlager im Salzgestein auf Endlager im Tonstein
02E9733 07/03 bis 12/06	DBE Technology GmbH	Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein
02E10286 10/06 bis 12/08	DBE Technology GmbH	Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tongestein

A3 Weiterentwicklung von Einlagerungs-, Handhabungs- und Überwachungstechniken

KWA 2030/5 07/79 bis 08/80	KfK	Vergleich der verschiedenen Entsorgungsalternativen und Beurteilung ihrer Realisierbarkeit
KWA 3207/8 10/82 bis 12/84	Förderges. EWI	Wirtschaftlichkeitsvergleich Anderer Entsorgungstechniken
KWA 3301/0 01/83 bis 12/84	GUW	Repräsentative Emissionsdatensätze und Strahlenbelastung für Versorgungseinrichtungen im nuklearen Brennstoffkreislauf
KWA 3302/0 03/83 bis 06/84	TN	Untersuchung zum Transport von Endlagergebinden im Rahmen der Anderen Entsorgungstechniken
KWA 3310/7 08/83 bis 06/84	TN	Sicherheitsanalyse des Transportes konditionierter Brennelemente auf der Schiene im Rahmen des Projektes Andere Entsorgungstechniken

KWA 3602/2 07/86 bis 12/90	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente. Demonstrationsversuch Thermische Simulation der Streckenlagerung - Phase II: Planung und Errichtung des Versuchsortes
KWA 3603/3 (B6) 07/86 bis 12/90	BGR	Geotechnische und großnumerische Untersuchungen zur Direkten Endlagerung von Brennelementen Geotechnische und großnumerische Untersuchungen zur Direkten Endlagerung von Brennelementen
KWA 3604/4 07/86 bis 12/89	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente. Maschinentechnische Versuche - Phase II
KWA 3701/9 05/87 bis 03/90	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente - Demonstrationsvergleich: Aktives Handhabungsexperiment mit Neutronenquellen
KWA 5101/8 01/81 bis 12/84	NUKEM	Andere Entsorgungstechniken für abgebrannten Brennstoff
KWA 5122/5 02/82 bis 12/82	GSF	Versuchseinlagerung hochradioaktiver Abfälle (HAW) im Salzbergwerk Asse
KWA 5131/2 09/81 bis 12/84	DBE	Anpassung u. Weiterentwicklung der Untersuchungen und Planungen z. Endlagerung von hochaktiven Abfällen durch die Direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente
KWA 5131/A/2 07/85 bis 05/86	DBE	Direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente - Phase I: Vorbereitende Arbeiten für die Demonstration und Konzeptplanung
KWA 5131/B/5 06/86 bis 12/89	DBE	Direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente. Planungsarbeiten für ein Endlager-Mischkonzept - Phase II: Systemanalyse Mischkonzept
KWA 5212/4 03/82 bis 11/82	Siemens	Arbeiten zur Charakterisierung abgebrannter Kernbrennstoffe
KWA 5219/0 05/82 bis 04/83	DORNIER	Sicherheitstechnische Unterschiede zwischen LWR- und SBR Brennstoffkreislauf
KWA 5220/0 04/82 bis 06/85	GSF	Versuchseinlagerung hochradioaktiver Abfälle in der Schachanlage Asse - 1. Projektphase
KWA 5302/3 01/83 bis 06/89	KFA	Weiterentwicklung d. Bohrlochtechnologie f. die Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salz am Beispiel von Feedklärschlamm, Brennelementhülsen u. HTR-Brennelementen
KWA 5302/B/6 10/89 bis 12/92	KFA	MAW- und HTR-BE-Versuchseinlagerung in Bohrlöchern
KWA 5702/2 01/87 bis 12/89	GSF	Arbeiten zur Direkten Endlagerung von Brennelementen
KWA 5903/8 02/90 bis 12/92	GSF	Technisch-wissenschaftliche Betreuung u. geotechnisches Messprogramm für MAW- und HTR-Versuchseinlagerung
KWA 8506/0 01/85 bis 12/90	GSF	Versuchseinlagerung hochradioaktiver Abfallsimulate in der Schachanlage Asse - 2. Projektphase
KWA 8507/1 5/85 bis 12/88	GSF	Versuchseinlagerung hochradioaktiver Abfallsimulate in der Schachanlage Asse - 2. Projektphase: Wissenschaftlich-Technischer Teil
KWA 8507/A/1 01/89 bis 12/93	GSF	Versuchseinlagerung hochradioaktiver Abfallsimulate in der Schachanlage Asse - 3. Projektphase : Versuchsdurchführung
02E8131/1 01/91 bis 06/94	BGR	Geotechnische und großnumerische Untersuchungen zur Direkten Endlagerung von Brennelementen

02E8191/0 01/90 bis 03/95	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente. Handhabungsversuche zur Streckenlagerung - Phase III
02E8201/4 01/90 bis 12/93	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente - Systemanalyse Endlagerkonzepte
02E8211/2 01/90 bis 12/92	GSF	Arbeiten zur Direkten Endlagerung von Brennelementen
02E8221/0 01/90 bis 09/93	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente. Simulation des Schachttransportes - Phase III
02E8472/7 01/91 bis 12/95	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente. Demonstrationsversuch: Aktives Handhabungsexperiment mit Neutronenquellen
02E8181A 01/94 bis 12/99	GNB	Verkehrs- und atomrechtliches Zulassungsverfahren für den Transport- und Lagerbehälter CASTOR MTR 2
02S7523 10/93 bis 03/99	Noell	Entwicklung und Bau einer mobilen Umladestation zur Entsorgung von Brennelementen aus Forschungsreaktoren
02E8946 10/96 bis 01/00	DBE	Entwicklung und Erprobung redundanter faseroptischer Meßsysteme mit Selbstkontrolle zur Endlagerüberwachung
02E9249 02/00 bis 12/04	DBE	Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt der Betriebssicherheit in einem Endlager
02E9854 02/04 bis 09/09	DBE Technology GmbH	Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL)
02E10508 05/08 bis 04/09	DBE Technology GmbH	Machbarkeitsstudie zur Vorbereitung eines 2-Bohrloch-Erhitzerversuches im URL Mont Terri, Schweiz "MACH-2"

A4 Charakterisierung und Eigenschaften potentieller Wirtsgesteinsformationen

KWA 2010/9 01/80 bis 12/81	Battelle	Einsatz der Schallemissionsanalyse zur Überwachung von Salzstöcken während und nach der Einlagerung radioaktiver Abfälle
KWA 5113/8 01/81 bis 12/84	BGR	Erkundung unerschlossener Bereiche von Salzlagerstätten durch hochfrequente elektromagnetische Bohrlochmessverfahren
KWA 5114/9 01/81 bis 12/84	Nied. Land. f. Bodenforsch.	Erkundung unerschlossener Bereiche von Salzlagerstätten durch hochfrequente elektromagnetische Bohrlochmessverfahren
KWA 5115/0 01/81 bis 12/84	Prakla-Seismos	Erkundung unerschlossener Bereiche von Salzlagerstätten durch hochfrequente elektromagnetische Bohrlochmessverfahren
KWA 5201/5 01/82 bis 12/84	BGR	Aufstellung und ingenieurgeologische Beschreibung von Kristallin-Vorkommen in der Bundesrepublik Deutschland
KWA 5209/2 05/82 bis 12/85	Battelle	Einsatz der Schallemissionsanalyse zur Überwachung von Teilbereichen eines Salzstocks während und nach der Einlagerung radioaktiver Abfälle - Stufe II

KWA 5209/A/2 07/87 bis 11/89	Battelle	Einsatz der Schallemissionsanalyse zur Überwachung von Teilbereichen eines Salzstocks während und nach der Einlagerung radioaktiver Abfälle - Stufe III
KWA 5303/4 01/83 bis 12/87	BGR	Gebirgsspannungen - Felslabor Grimsel: Weiterentwicklung von Überbohrversuchen zur Bestimmung der Gebirgsspannungen und von Bohrlochverformungsversuchen
KWA 5304/5 01/83 bis 12/87	BGR	Bohrlochkranzversuch - Felslabor Grimsel: Felshydraulische Untersuchungen zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit und des Strömungsmechanismus von Kluftwasser
KWA 5304/A/5 01/88 bis 12/90	BGR	Bohrlochkranzversuch - Felslabor Grimsel: Deutsch-schweizerische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung
KWA 5305/6 01/83 bis 04/86	BGR	Hochfrequenzmessungen zur Ermittlung der Homogenität von kristallinen Gesteinskomplexen
KWA 5315/4 04/83 bis 12/90	GSF	Untersuchungsprogramm zur Erkundung ausgewählter Eigenschaften von kristallinen Felsformationen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle
KWA 5501/7 01/85 bis 12/88	BGR	Weiterentwicklung von Hochfrequenz-EMR-Messverfahren zur untertägigen Vorauserkundung unerschlossener Salzlagerbereiche
KWA 5505/0 01/85 bis 12/87	DORNIER	Systemanalyse zu sicherheitstechnischen Aspekten von radioaktiven Abfällen im tiefsten Meeresboden
KWA 5606/9 07/86 bis 09/89	DBE	Weiterentwicklung von elektromagnetischen Reflexions-Messverfahren (EMR) zur untertägigen Vorauserkundung unerschlossener Salzlagerbereiche
02E8110/4 07/90 bis 12/92	Battelle	Schallemissionsmessungen zur Verfolgung der Bildung von Auflockerungszonen und von größeren Rissen in Salzgestein
02E8141/0 01/91 bis 06/94	BGR	Deutsch-schweizerische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung. Durchströmungseigenschaften von geklüftetem Fels (Bohrlochkranzversuch - Fracture System Flow Test)
02E8151/8 01/91 bis 04/94	GSF	Untersuchung physikalischer Prozesse und Parameter zum Fluid- und Gastransport im Nahbereich von Endlagern in granitischen Formationen des Felslabors Grimsel - Phase 3
02E8151/A 05/94 bis 12/95	GRS Braunschweig	Untersuchung physikalischer Prozesse und Parameter zum Fluid- und Gastransport im Nahbereich von Endlagern in granitischen Formationen des Felslabors Grimsel - Phase 4
02E8936 01/96 bis 12/96	GRS Braunschweig	Voruntersuchungen zur Gebirgscharakterisierung und Auswahl eines Versuchsfeldes für ein 2-Phasenfluß-Experiment im Äspö-Hartgesteinslabor
02E8141 A 07/94 bis 09/98	BGR	Deutsch-Schweizerische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung: Stofftransport in geklüftetem Fels /Gebirgscharakterisierung im Stollennahbereich
02E9027 01/97 bis 12/99	GRS Braunschweig	Zweiphasenfluss-Experiment im geklüfteten Kristallin im Hartgesteinslabor (HRL) ÄSPÖ

KWA 9503 06/95 bis 12/98	FZK	Deutsch-schwedische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Granit - Beteiligung an den Untersuchungen im schwedischen Untertagelabor ÄSPÖ
02E8785 01/96 bis 03/99	GRS Braunschweig	Untersuchung physikalischer Prozesse und Parameter zum Fluid- und Gastransport im Nahbereich von Endlagern in granitischen Formationen des Felslabors Grimsel (Phase 4)
02E9037 01/97 bis 06/00	BGR	Zweiphasenfluss-Experimente im geklüfteten wasserführenden Kristallin
02E9208 10/98 bis 09/01	GRS Braunschweig	Felslabor Grimsel (Phase V): Effektive Parameter (EFP) - Begleitende geoelektrische Untersuchungen -
02E9098 07/98 bis 12/01	BGR	Entwicklung und Erprobung von zerstörungsfreien seismischen In-situ-Methoden zur Beurteilung der geomechanischen und hydraulischen Gebirgseigenschaften in der Umgebung untertägiger Hohlräume in Endlagerformationen
02E9118 07/98 bis 04/03	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur hydraulisch wirksamen Auflockerungszone um Endlagerbereiche im Salinar in Abhängigkeit vom Hohlraumabstand und Spannungszustand
02E9188 10/98 bis 12/01	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Gas- und Wasserfreisetzung und der Wasserverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels
02E9198 10/98 bis 06/05	GRS	Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel Phase V
02E9218 (B6) 10/98 bis 12/01	BGR	Deutsch-Schweizerische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung (Felslabor Grimsel Phase V): Teilprojekt I: Effektive Parameter (EFP); Teilprojekt II: Numerical Calculation of Two-Phase Flow
KWA 9901 01/99 bis 12/02	FZK	Unterstützungsprogramm Granit
02E9380 06/00 bis 05/03	IIF-Leipzig	Migrations- und Sorptionsuntersuchungen geogener Lösungen in Wirtsgesteinsformationen (Ton, Tongestein, Salzgestein) mittels tomographischer Radiotracerverfahren (PET)
02E9420 09/00 bis 12/02	GRS Braunschweig	Laboruntersuchungen der gekoppelten hydraulisch-mechanischen Eigenschaften von Kernproben des Callovo-Oxfordian Tonsteins am Standort Meuse/Haute Marne im Projekt MODEX-REP
02E9541 07/01 bis 12/03	GRS Braunschweig	Vorprojekt zur Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im URL Bure
02E9571 08/01 bis 12/04	DBE Technology GmbH	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen
02E9602 01/02 bis 03/05	GRS	Untersuchungen zur Gaserzeugung und -freisetzung sowie dem Wassergehalt und der Wasserumverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels

02E9612 02/02 bis 03/05	DBE Technology GmbH	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein
02E9622 02/02 bis 03/05	GRS	Anforderungen an die Standort-Erkundung für HAW-Endlager im Hartgestein (Kurztitel: ASTER), AP3 (GRS): Vorbereitung eines sicherheitsanalytischen Endlager- und Standortmodells
02E9773 08/03 bis 12/06	GRS Braunschweig	Untersuchung und Modellierung des gekoppelten THM-Verhaltens des Opalinuston im Rahmen des Aufheizversuches TER-MOCK UP im Mont Terri-Untertagelabor
02E9834 01/04 bis 12/07	GRS Braunschweig	Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verteilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen
02E9914 04/04 bis 12/07	GRS Braunschweig	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ
02E9965 06/05 bis 05/08	DBE Technology GmbH	Untersuchungen zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barrierensystems im Hinblick auf die Standortauswahl in magmatischen Gesteinen - WIBASTA
02E9975 06/05 bis 05/08	GRS Braunschweig	Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barrierensystems im Hinblick auf die Standort-Auswahl in magmatischen Gesteinen
02E10226 09/06 bis 06/08	GRS Braunschweig	Gasmigration im Opalinus Ton in Abhängigkeit vom Gasinjektionsdruck (unterhalb des Fracdruckles)

A5 Geotechnische Barrieren

KWA 5509/4 10/85 bis 05/86	DBE	Dammbau im Salzgebirge - Pilotdamm Phase I: Vorbereitende Arbeiten und Konzeptplanung
KWA 5603/A/6 07/86 bis 12/92	GSF	Dammbau im Salzgebirge - Untersuchungen und Erprobung eines Systems von Baukomponenten zur Entwicklung und Optimierung eines Dammbauwerkes
KWA 5604/7 07/86 bis 12/92	DBE	Dammbau im Salzgebirge - Untersuchungen und Erprobung eines Systems von Baukomponenten zur Optimierung eines Dammbauwerkes
KWA 5605/A/8 07/86 bis 12/92	BGR	Dammbau im Salzgebirge - Untersuchungen und Erprobung eines Systems von Baukomponenten zur Optimierung eines Dammbauwerkes
02E9390 07/00 bis 12/07	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt "Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock-Phase II" FEBEX II

B VERBESSERUNG VON INSTRUMENTARIEN FÜR DIE SICHERHEITSBEWERTUNG VON ENDLAGERN

B1 Szenarientwicklung

02E8563 01/93 bis 01/95	Stoller	Untersuchungen zur Szenarienmodellierung im Nahfeld eines wärmebeeinflussten Endlagerbereichs im Salzgestein
02E10055 10/05 bis 03/10	GRS Braunschweig	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW
02E10065 10/05 bis 03/10	DBE Technology GmbH	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW
02E10598 10/08 bis 09/09	TU Clausthal	Externer unabhängiger Review des im Vorhaben Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW (ISIBEL) erstellten FEP-Katalogs

B2 Verhalten der Wirtsgesteinsformation

KWA 5103/0 01/81 bis 12/84	BGR	In-situ-Messtechnik im Salz. Ermittlung des Spannungs-Deformationsverhaltens von Salzgebirge durch Messungen in der Umgebung von Grubenhöhlräumen und Bestimmung des sekundären und des primären Spannungszustandes
KWA 5104/0 01/81 bis 12/84	BGR	Stoffgesetze und Daten für Salz
KWA 5105/1 07/81 bis 04/85	BGR	Untersuchung der thermomechanischen Eigenschaften radioaktiv bestrahlter Salzproben
KWA 5118/2 01/81 bis 12/82	Uni Hannover	Stoffgleichungen für Salze unter mechanischer, thermischer und radioaktiver Belastung sowie numerische Behandlung von Anfangs- und Randwertproblemen
KWA 5202/6 01/82 bis 04/86	BGR	Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Langzeitdeformationsverhalten von Steinsalz auf der Grundlage der wirksamen Deformationsmechanismen
KWA 5204/8 01/82 bis 12/84	BGR	In-situ-Experimente zum Nachweis kritischer Spannungszustände (thermisch induzierte Rissbildung) - Teilprojekt Geophysik
KWA 5205/9 07/82 bis 06/85	BGR	Thermomechanische In-situ-Versuche zum Nachweis kritischer Spannungszustände (Rissbildung) - Teilprojekt Gebirgsmechanik
KWA 5301/2 01/83 bis 12/83	Uni Hannover	Stoffgleichungen für Salze unter mechanischer, thermischer und radioaktiver Belastungen sowie numerische Behandlung von Anfangs- und Randwertproblemen

KWA 5502/8 01/85 bis 12/87	BGR	Geotechnisches Verhalten verschiedener Salzgesteine
KWA 5503/9 01/85 bis 06/88	BGR	In-situ-Heizversuche zum Nachweis kritischer Spannungszustände (thermisch induzierte Rissbildung)
KWA 5802/0 03/88 bis 12/90	BGR	Wissenschaftliche Grundlagen der Erkundung und Berechenbarkeit des Endlagerbergwerks
02E8161/6 01/91 bis 12/91	IfG Leipzig	Überprüfung vorhandener Modellvorstellungen zum Konvergenzverhalten und zur Standsicherheit komplexer Grubengebäude im Salzgestein. Ermittlung notwendiger Ergänzender Daten - Phase I
02E8241/A 01/92 bis 03/95	IfG Leipzig	Gebirgsmechanisches Verhalten von Anhydrit und Salzton
02E8311/0 07/91 bis 06/93	IfAG	Flächenhafte Erfassung der vertikalen Deckgebirgsbewegungen in untertägigen Hohlräumen im Salzgebirge
02E8391 01/91 bis 12/96	BGR	Entwicklung von Methoden zur Erkundung dynamischen Gebirgseigenschaften in der Umgebung von untertägigen Hohlräumen
02E8421 01/91 bis 02/95	BGR	Untersuchungen thermophysikalischer und elektrischer Eigenschaften von Salzgesteinen
02E8452 04/92 bis 06/95	GSF	Geotechnische Untersuchung im Salinar zur Ermittlung des gebirgsmechanischen Verhaltens von Anhydrit und Salzton (Nachbetriebsphase)
02E8542/0 01/93 bis 12/94	BGR	Thermomechanisches Verhalten von Salzgesteinen
02E8755 09/95 bis 08/98	IfG Leipzig	Untersuchung der Barrierewirksamkeit des Gesteinsverbandes Steinsalz/Anhydrit/Salzton (BARITON)
02E8765 09/95 bis 08/98	GRS Braunschweig	Untersuchung der Barrierewirksamkeit des Gesteinsverbandes Steinsalz/Anhydrit/Salzton (BARITON)
02E9006 01/97 bis 04/00	GRS	Gasfreisetzung und Migration im Boom-Clay von Mol im Projekt „Corrosion on Active Glass in Underground Conditions“ (CORALUS) at SCK-CEN in Mol
02E9158 09/98 bis 12/01	IfG-Leipzig	Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN)
02E9168 09/98 bis 12/01	GRS Braunschweig	Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN)
02E9400 07/00 bis 03/04	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Gasentwicklung- und Freisetzung im Boom-Clay im Projekt: „Integrated in Situ Corrosion Test on Alpha-Active High Level Waste Glass-Phase 2“
02E9501 07/01 bis 03/04	GRS Braunschweig	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor

02E9531 10/01 bis 07/06	DBE Technology GmbH	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen
02E9582 03/02 bis 06/04	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (Phase 2)
02E9592 03/02 bis 09/04	GRS	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2
02E9864 01/04 bis 06/05	BUTEC Umwelttechnik GmbH	Selbsteheilungseffekte in Tongestein bei hohen Temperaturen - Teilvorhaben WP 4.4 des Integrated Project NF-PRO des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission
02E9874 01/04 bis 12/07	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation
02E10045 07/05 bis 09/10	GRS Braunschweig	Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertage Labor Bure
02E10096 05/06 bis 04/09	KIT (Großforschung)	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen
02E10106 05/06 bis 04/09	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen
02E10427 07/07 bis 12/10	Technische Universität Clausthal	Untersuchungen zur Validierung von Modellansätzen für Tongestein anhand von Feldexperimenten am Standort Tournemire (F) im Rahmen DECOVALEX-THMC

B3 Chemische und physikalische Effekte im Nahfeld

KWA 5116/0 01/81 bis 12/83	GSF	Laugenmigrationstest in der Schachanlage Asse
KWA 5124/7 07/81 bis 08/83	Siemens	Auslaugversuche an unbestrahlten und bestrahlten Kernbrennstoffen in Salzlaugen
KWA 5124/A/7 09/83 bis 06/86	Siemens	Langzeitauslaugung bestrahlter Kernbrennstoffe in Salzlaugen und Einfluss von Eisen auf die Elementmobilisierung
KWA 5312/1 02/83 bis 01/85	TU München	Bestimmung der Löslichkeiten und des chemischen Verhaltens der Np-, Pu- und Am-Komplexe in Salzlösungen
KWA 5313/2 02/83 bis 01/85	FU Berlin	Untersuchung der Mobilität von Plutonium und Americium aus MAW-Produkten bei Endlagerung im Salz
KWA 5314/3 09/83 bis 12/86	TH Darmstadt	Löslichkeit von Technetium in konzentrierten Salzlösungen
KWA 5401/0 01/84 bis 12/86	GSF	HAW-Simulationsversuch mit Co-60-Quellen in der Schachanlage Asse

KWA 5905/0 10/90 bis 03/92	DBE	Rückgewinnung von Bohrlocheinbauten und Steinsalzproben nach In-situ-Versuchen zur Sicherheitsanalyse bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Steinsalzformationen
KWA 5906/0 10/90 bis 05/92	Institut für Energetik und Umwelt (IfE)	Korrosions- und Auslaugverhalten metallischer Werkstoffe mit und ohne Beschichtung in einem Endlager - Vorphase
02U5715/0 02/85 bis 03/88	FU Berlin	Untersuchung der Mobilisierung ausgewählter Radionuklide und deren Sorptionsverhalten an natürlichen und technischen Barrieren unter MAW-Endlagerbedingungen
02U5725/9 02/85 bis 12/87	TU München	Geochemisches Verhalten von Aktinoiden und Tc im geologischen Milieu des Endlagerortes
02U5998/3 10/88 bis 09/91	FU Berlin	Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen an bestrahlten und unbestrahlten Urandioxidpellets in konzentrierten Salzlösungen
02E8020/5 07/90 bis 12/93	TU Clausthal	Elektrochemische Untersuchungen der Korrosion von Werkstoffen in heißen Salzlaugen
02E8030/3 08/90 bis 02/93	FU Berlin	Untersuchung der Verstärkung der Rückhaltung des Nahbereiches eines Endlagers in einem Salzdom gegenüber mehrwertigen Kationen durch Hydroxylapatit
02E8030 A 07/94 bis 12/98	FU Berlin	Bestimmung von Löslichkeitsprodukten endlagerrelevanter Elemente in gesättigten Salzlösungen in Gegenwart von Hydroxylapatit
02E8100/6 09/90 bis 10/91	Battelle	Untersuchungen zum Gefährdungspotential von Wasserstoff in einem Endlager für radioaktive Abfälle in Steinsalz während der Betriebsphase
02E8251 09/91 bis 08/95	Uni Düsseldorf	Lokale Korrosion metallischer Werkstoffe u. Gamma-Strahlenwirkung in Passiv-Schichten unter Endlagerbedingung.
02E8261 10/91 bis 04/95	FU Berlin	Radiochemische Korrosionsuntersuchungen an Titan und Titanlegierungen als Containerwerkstoffe in praxisrelevanten Salzlaugen
02E8271/1 10/91 bis 03/95	FU Berlin	Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen an unbestrahltem Urandioxid und simuliertem "spent fuel" in endlagerungsrelevanten Laugensystemen
02E8351/2 05/91 bis 09/92	GRS Köln	Gasbildung und Gastransport in einem salinaren Endlager bei unterstelltem Laugeneinbruch
02E8361/0 10/91 bis 06/92	TU BAF	Vergleich von geochemischen Rechenprogrammen und Erweiterung der thermodynamischen Datenbasis für die Modellierung von hochsalinaren Lösungen
02E8603/5 07/93 bis 01/94	Stoller	Literaturrecherche zu Strahleneffekten im Steinsalz - Auswertung der russischen Literatur
02E8613 11/93 bis 10/96	TU BAF	Vergleich von geochemischen Rechenprogrammen und Erweiterung der thermodynamischen Datenbasis für die Modellierung von hochsalinaren Lösungen (Phase II)

02E8633/0 10/93 bis 04/94	Stoller	Thermische und radiologische Geschichte des Wirtsgesteins in den Versuchen A1 u. A2 im Untertagemessfeld des ERAM
02E8825 10/95 bis 06/96	GRS Braunschweig	Realistische Abschätzung der Strahlenschädigung von Steinsalz bei Einlagerung von HAW in Bohrlöchern
02E8654 04/94 bis 03/98	FZ Jülich	Untersuchungen zur Radionuklidfreisetzung durch Einwirkung konzentrierter Salzlauge auf Alu-MTR-Brennelemente
02E8725 04/95 bis 08/97	FU Berlin	Elektrochemische und radiochemische Korrosionsuntersuchungen an Uran-dioxyd in endlagerrelevanten Elektrolyt-Systemen
02E9108 06/98 bis 11/01	FZ-Jülich	Untersuchungen zur Radionuklidfreisetzung und zum Korrosionsverhalten von bestrahltem Kernbrennstoff aus Forschungsreaktoren unter Endlagerbedingungen
02E9138 10/98 bis 09/02	GRS Braunschweig	Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des geochemischen Milieus in hochsalinaren Lösungen
02E9319 01/00 bis 12/01	TU BAF	Erweiterung der Datenbasis zur thermodynamischen Modellierung der Reaktionen CaSO ₄ -haltiger Minerale und des Glasrits bei Temperaturen bis 200 °C
02E9440 10/00 bis 09/02	GRS Braunschweig	Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Jod und Selen im Nahbereich eines Endlagers
02E9450 11/00 bis 10/03	TU-München	Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden
02E9461 01/01 bis 09/03	GRS Braunschweig	Untersuchung der chemischen und hydromechanischen Wechselwirkungen von Ton/Zement-Systemen
02E9481 04/01 bis 03/04	Universität Hannover	Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren
02E9491 04/01 bis 03/04	Forschungs- zentrum Rossendorf	Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters
02E9803 11/03 bis 10/06	Forschungs- zentrum Jülich GmbH	Untersuchungen zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager
02E9824 01/04 bis 06/07	GRS Braunschweig	Advectiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Kurztitel: Addigas)
02E9884 01/04 bis 12/07	GRS Braunschweig	Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen
02E9985 07/05 bis 10/08	Forschungs- zentrum Dres- den-Rossendorf	Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall
02E10005 07/05 bis 06/06	Institut für Si- cherheits- technologie (ISTec)	Auswertung von Modellierungsansätzen zum Gastransport in Tongesteinen (GASTON)

02E10015 08/05 bis 12/10	Technische Universität Darmstadt	Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein
02E10025 08/05 bis 11/08	Universität Hannover	Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endlagerbedingungen - Experiment und Modellierung
02E10126 07/06bis 09/09	KIT (Großforschung)	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis
02E10136 07/06bis 09/09	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis
02E10146 07/06bis 09/09	GRS Braunschweig	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis
02E10357 04/07 bis 03/10	Forschungszentrum Jülich	Wechselwirkung mobilisierter Radionuklide mit sekundären Phasen in endlagerrelevanten Formationswässern
02E10387 05/07 bis 04/09	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX
02E10397 05/07 bis 04/09	Öko-Institut e.V.	Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX
02E10407 05/07 bis 04/09	DBE Technology GmbH	Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX

B4 Verhalten von geotechnischen Barrieren

KWA 5404/2 06/84 bis 12/86	Siemens	Konzept für die Ermittlung der Rückhaltefähigkeit von Versatzmaterialien und Abschlussbauwerken gegenüber gasförmigen Radionukliden
02U5836/5 01/87 bis 10/89	Siemens	Laborversuche zur Ermittlung des Rückhaltevermögens von Salz (Schüttungen unterschiedlicher Korngröße und Salz Mischung) gegenüber ausgewählten Radionukliden und einigen ihrer gasförmigen chemischen Verbindungen
02E8040/1 07/90 bis 06/91	Uni Karlsruhe	Grundlagenuntersuchungen zu Salzhautwerk mit Korndurchmessern bis 65 mm in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte und des Spannungsniveaus
02E8211/A 01/93 bis 12/95	GSF	Arbeiten zur Direkten Endlagerung von Brennelementen (Thermische Simulation der Streckenlagerung / TSS)
02E8131/A 07/94 bis 01/96	BGR	Geotechnische Untersuchungen im Rahmen des Demonstrationsversuchs Thermische Simulation der Streckenlagerung (TSS)
02E8291/8 07/91 bis 12/93	TU BAF	Untersuchungen zu Bohrlochverschlüssen und Verschlussmaterialien mit Dokumentation bisheriger Sorptionsergebnisse
02E8462 04/92 bis 12/95	TU BAF	Diffusions- und Permeabilitätsverhalten von Wasserstoff in Steinsalz und kompaktiertem Salzgrus

02E8492 04/92 bis 12/95	Battelle	Bestimmung des Diffusions- und Permeabilitätsverhaltens von Wasserstoff in Steinsalz und kompaktiertem Salzgrus
02E8552/8 01/93 bis 12/94	BGR	Untersuchungen zum Kompaktionsverhalten von Salzgrus als Versatzmaterial für Endlagerbergwerke im Salz unter besonderer Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen Gebirge und Versatz
02E8715 10/95 bis 06/99	GRS Braunschweig	Untersuchung der Langzeit-Dichtwirkung von Bohrlochverschlüssen aus Salzgrus (DEBORA-Projekt Phase 2)
02E8805 01/96 bis 03/00	GRS Braunschweig	Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar
02E8876 02/96 bis 04/99	TU BAF	Durchlässigkeitsverhalten von Steinsalzversatz bei gekoppeltem Einfluss von Fluidodynamik, Gebirgsmechanik und Lösungsvorgängen
02E8886 02/96 bis 04/99	BIG	Durchlässigkeitsverhalten von Steinsalzversatz gegenüber Laugen unter Berücksichtigung von zeitlich veränderlichen Überlagerungsdrücken und Lösungsvorgängen
02E8956 07/96 bis 08/99	GRS Braunschweig	Experimentelle und theoretische Untersuchung physikalisch-chemischer Vorgänge beim Laugenzutritt in Einlagerungsstrecken - theoretischer Teil -
02E8966 07/96 bis 08/99	Stoller	Experimentelle und theoretische Untersuchung physikalisch-chemischer Vorgänge beim Laugenzutritt in Einlagerungsstrecken - experimenteller Teil -
02E8986 07/96 bis 12/00	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur geochemischen Stabilität von Tonen in Endlagern und Untertagedeponien im Salzgestein
02E9006 01/97 bis 04/00	GRS Braunschweig	Gasfreisetzung und Migration im Boom-Clay von Mol im Projekt CORALUS
02E9017 01/97 bis 12/99	GRS Braunschweig	Untersuchungen zum Zweiphasenfluss und diffusiven Transport in Tonbarrieren und Tongesteinen
02E9047 05/97 bis 04/00	GRS Braunschweig	Wirksamkeit der Abdichtung von Versatzmaterialien - Geochemische Untersuchungen
02E9057 01/98 bis 07/01	K-UTEC	Wirksamkeit der Abdichtung von Versatzmaterialien – Techniks- und In-situ-Versuche am Dreistoffsystem polymineralisches Salzgestein-Versatzstoff-Fluid
02E9228 01/99 bis 03/00	BGR	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar
02E9259 04/00 bis 04/03	IfG-Leipzig	Untersuchungen des Spannungszustandes und des gebirgsmechanischen Verhaltens von Versatz und Wirtsgestein in Abhängigkeit von der Temperatur
02E9269 04/00 bis 04/03	GRS Braunschweig	Abschließende Auswertung des Projektes „Thermische Simulation der Streckenlagerung / Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar“
02E9279 01/00 bis 02/04	GRS Braunschweig	Geoelektrische Untersuchungen der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“

02E9289 04/00 bis 04/03	DBE	Versuchsaufwältigung und Rückgewinnung von Materialproben und Messeinrichtungen
02E9330 05/00 bis 04/03	TU-BAF	Untersuchungen der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen
02E9340 05/00 bis 04/03	Battelle	Untersuchungen der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen
02E9390 07/00 bis 02/04	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Gasentwicklung und -freisetzung aus dem Tonversatz sowie dessen Gas- und Wasserpermeabilität im Projekt "Full Scale Engineered Barriers Experiment in Crystalline Host Rock-Phase II" FEBEX II
02E9430 10/00 bis 09/03	GRS Braunschweig	Modellierung des Aufsättigungsverhaltens von Bentonit im Endlager im Kristallin Mitarbeit in der Task Force "EBS" des HRL Äspö
02E9561 10/01 bis 09/04	GRS Braunschweig	Modellentwicklung zur Quellung hochkompakter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 - 120°C
02E9713 01/03 bis 12/04	GRS	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager - SB-Experiment - im Mt. Terri Untertage-labor (Vorprojekt)
02E9743 08/03 bis 06/08	DBE Technology GmbH	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
02E9904 01/04 bis 12/07	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein
02E10236 11/06 bis 12/09	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung von THM-Modellen zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz
02E10246 11/06 bis 10/09	DBE Technology GmbH	Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung von THM-Modellen zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz
02E10256 11/06 bis 10/09	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung von THM-Modellen zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz
02E10437 10/07 bis 12/10	Universität Bo- chum	Hydraulische Permeabilität von moderat bis hochverdichteten expansiven Tonen
02E10477 10/07 bis 03/09	GRS Braunschweig	Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager, Kurztitel: Repoperm
02E10487 10/07 bis 03/09	DBE Technology GmbH	Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager, Kurztitel: Repoperm

02E10538 05/08 bis 12/10	GRS Braunschweig	Experimentelle Untersuchungen und Modellierung der Wechselwirkungen Eisen - Bentonit, Kurztitel: Fe-Bentonit
------------------------------------	---------------------	--

B5 Verhalten von geologischen Barrieren

KWA 3111/3 07/81 bis 06/84	GSF	Sicherheitsstudie Entsorgung PSE II - Die Sorption von Radionukliden in oberflächennahen Böden der Bundesrepublik Deutschland
--------------------------------------	-----	---

KWA 5701/1 01/87 bis 06/89	BAM	Untersuchung des Sorptionsmechanismus des Urans, Nikkels und Thoriums an Gesteinsoberflächen
--------------------------------------	-----	--

KWA 5801/9 03/88 bis 12/90	BGR	Langzeitsicherheit der Barriere Salzstock
--------------------------------------	-----	---

02U5695/A/9 07/87 bis 11/89	FU Berlin	Das Ausbreitungsverhalten von Technetium (Selen) in geochemisch unterschiedlichen Grundwasserleitern
---------------------------------------	-----------	--

02U5695/9 09/85 bis 06/87	FU Berlin	Bereitstellung gesicherter Sorptionsdaten für Technetium
-------------------------------------	-----------	--

02U5705/2 10/85 bis 12/88	TU Berlin	Untersuchung von Rückhalteeffekten im Barrierensystem Deckgebirge
-------------------------------------	-----------	---

02U5745/5 07/84 bis 09/87	TU Berlin	Erweiterung und Anwendung vorhandener Modellansätze zur Berechnung der Nuklidmigration in Unterschiedlichen Deckgebirgsformationen
-------------------------------------	-----------	--

02U5826/7 08/86 bis 07/89	TH Darmstadt	Untersuchungen zur Kolloidbildung in natürlichen Systemen und Einfluss der Kolloidbildung auf das Migrationsverhalten von Spurenelementen
-------------------------------------	--------------	---

02U5958/0 10/88 bis 03/92	TU München	Untersuchung der Übertragbarkeit von Labordaten (Löslichkeiten und Sorptionskoeffizienten) auf natürliche Verhältnisse am Beispiel von Gorleben-Aquifer-Systemen
-------------------------------------	------------	--

02U5917/7 08/87 bis 12/88	TH Darmstadt	Literaturauswertung über Untersuchungen zum möglichen Einfluss von Mikroorganismen auf die Ausbreitung von Radionukliden aus Endlagern
-------------------------------------	--------------	--

02E8050/0 07/90 bis 06/93	FU Berlin	Sorptionsexperimente zur Beeinflussung der Radionuklidmigration durch mikrobielle Aktivitäten am Beispiel des Technetiums, Selens und Jods
-------------------------------------	-----------	--

02E8060/8 07/90 bis 06/93	TU Berlin	Untersuchungen zur Methodik von Sterilisationsverfahren sowie der mikrobiologischen Überwachung von Sorptionsexperimenten
-------------------------------------	-----------	---

02E8060/A 10/93 bis 04/96	TU Berlin	Einfluss der autochthonen Mikroflora auf die Sorption und Remobilisierung des Technetiums und Selens
-------------------------------------	-----------	--

02E8331/6 11/91 bis 10/94	TU München	Entwicklung und Interpretation von Methoden zur Altersdatierung und Charakterisierung von Grundwässern und darin enthaltenen DOC und DIC mit Hilfe von C-14-Messungen sowie ergänzenden Isotopenuntersuchungen
-------------------------------------	------------	--

02E8341/4 08/91 bis 06/92	Schwandt	Erfassung und Bewertung der im Steinsalz-, Kali- und Kupferschieferbergbau am Bernburger Hauptsattel und in der Sangerhäuser Mulde aufgetretenen Salzlösungen und Wasservorkommen
02E8573 06/93 bis 02/95	Institut für Energetik und Umwelt (IfE)	Bestandsaufnahme und Bewertung des Datenmaterials von geochemischen Experimenten sowie Zusammenstellung in Form einer Datenbank zur Verwendung in der geochemischen Modellierung
02E8583 06/93 bis 01/97	TU München	Untersuchung der Übertragbarkeit von Labordaten (Löslichkeiten und Sorptionskoeffizienten) auf natürliche Verhältnisse am Beispiel von Gorleben Aquifersystemen
02E8674 10/94 bis 12/95	GRS Köln	Teilnahme am EVEGAS Benchmark Projekt
02E8906 05/96 bis 04/97	FU Berlin	Einfluss der autochthonen Mikroflora auf die Sorption und die Remobilisierung des Technetiums und Selens an verschiedenen Sedimenten
02E8664 10/95 bis 09/98	GSF	Geochemische Modellierung der Rückhaltung von Radionukliden der Elemente Sr, Cs, U, Am, Se und Ni in wasergesättigten Aquiferen
02E8795 11/95 bis 01/99	Uni Mainz	Einfluss von Huminstoffen auf das Migrationsverhalten radioaktiver und nichtradioaktiver Schadstoffe unter naturnahen Bedingungen
02E8815 11/95 bis 02/99	Forschungszentrum Rossendorf	Einfluss von Huminstoffen auf das Migrationsverhalten radioaktiver und nicht radioaktiver Stoffe unter naturnahen Bedingungen - Synthese, radiometrische Bestimmung funktioneller Gruppen, Komplexierung -
02E9299 01/00 bis 11/02	Forschungszentrum Rossendorf	Untersuchungen über die Komplexierung und die Migration von Actiniden und nichtradioaktiven Stoffen mit Huminsäuren unter geogenen Bedingungen – Komplexierung von Huminsäuren mit Actiniden in der Oxidationsstufe IV Th, U, Np
02E9309 01/00 bis 12/02	Universität Mainz	Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nichtradioaktiven Stoffen
02E9329 01/00 bis 02/03	IIF-Leipzig	Komplexierung und Migration von Al, Ga, In, Sc, Y, La und Schwermetallen mit Huminsäuren
02E9360 06/00 bis 05/03	Technische Universität München	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden
02E9471 04/01 bis 03/04	Forschungszentrum Rossendorf	Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle
02E9653 07/03 bis 12/06	Universität Mainz	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Wechselwirkung von Neptunium und Plutonium mit Huminstoffen und Kaolinit

02E9663 07/03 bis 08/06	Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Entwicklung und Einsatz von Radiotracern für Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von kolloidalen Spezies mobilisierter Schwermetalle in Geosystemen
02E9673 07/03 bis 06/06	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V. (FZD)	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Migrationsverhalten von Actiniden (Uran, Neptunium) in Tonen: Charakterisierung und Quantifizierung des Einflusses von Huminstoffen
02E9683 07/03 bis 12/06	Universität des Saarlandes	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure - Metall - Kaolinit
02E9693 07/03 bis 06/06	Technische Universität München	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe
02E9703 07/03 bis 12/06	Universität Heidelberg	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Thermodynamische Daten für Cm-Humat und dessen kinetische Zustände/Modi und Charakterisierung der Huminstoffsorption an Ton-Modelloberflächen
02E9753 08/03 bis 09/06	Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung	Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracerverfahren
02E9763 11/03 bis 10/06	Technische Universität München	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden
02E9924 04/04 bis 10/07	Universität Potsdam	Verbundprojekt: Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Huminstoff-Metall-Komplexierung (Teilbeitrag im Verbund "Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer")
02E10035 07/05 bis 09/08	Technische Universität München	Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorganohuminkolloiden
02E10116 07/06 bis 03/10	GRS Braunschweig	Barriereintegrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs in Tonformationen
02E10266 09/06 bis 07/07	ISTec	Numerische Modellierung der Dilatanz induzierten, perkolativen Permeation in Salzgestein

B6 Methodenentwicklung und Rechenprogramme für Sicherheitsbewertungen

KWA 2070/8 04/80 bis 03/82	BGR	Entwicklung eines optimalen Finite Element Programms zur Berechnung thermomechanischer Vorgänge bei der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle
KWA 2090/4 07/80 bis 10/81	Control Data	Berechnung thermomechanischer Vorgänge im Salzgestein
KWA 5317/6 10/83 bis 12/84	BGR	ANSALT-Produktionssicherungssystem

KWA 5408/6 07/84 bis 03/90	GSF	Arbeiten zur Sicherheitsanalyse eines geologischen Endlagers. Untersuchung strömungsmechanischer und geochemischer Vorgänge sowie Weiterführung der Modellentwicklung
KWA 5409/7 07/84 bis 12/88	GSF	Aspekte der potentiellen Strahlenexposition der Bevölkerung aus Endlagern
KWA 5911/4 10/90 bis 12/91	Institut für Energetik und Umwelt (IfE)	Modelle zur numerischen Simulation der Radionuklidausbreitung bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle - 1. Arbeitsphase
02U5937/3 10/87 bis 09/90	Uni Hannover	Methodenentwicklung für Kluftwassersysteme
02E8019/5 02/90 bis 12/92	GSF	Potentielle Strahlenexposition der Bevölkerung und ihre Variabilität nach Austritt von Radionukliden aus Endlagern in nutzbare Grundwässer
02E8320/7 10/90 bis 06/94	Control Data	Entwicklung des Programmsystems ANSALT II zur Berechnung dreidimensionaler thermomechanisch gekoppelter, nichtlinearer Aufgabenstellungen im Rahmen der Endlagerung von Abfallstoffen im Salzgestein
02E8401/9 02/91 bis 04/95	GRS Köln	Entwicklung und Umsetzung von Qualifizierungsstrategien für Rechencodes zum Nachweis der Langzeitsicherheit in der Endlagerung
02E8522 09/91 bis 12/95	GSF	Entwicklung eines eindimensionalen Nuklidausbreitungsprogramms des Freisetzungsprogramms REPOS
02E8532 07/92 bis 12/95	GSF	Erarbeitung und Bewertung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Sicherheitsanalyse eines Endlagers in der Nachbetriebsphase
02E8593/1 08/93 bis 01/94	Institut für Energetik und Umwelt (IfE)	Manual und Testbericht zum Grundwassermodell GEOFIM
02E8775 01/96 bis 03/96	GRS Braunschweig	Erarbeitung und Bewertung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Sicherheitsanalyse eines Endlagers in der Nachbetriebsphase
02E8705 01/95 bis 07/98	BSH	Transportmechanismen radioaktiver Substanzen im Arktischen Ozean - Numerische und experimentelle Studien am Beispiel der Kara- und Barentssee
02E8835 01/96 bis 12/98	GRS Braunschweig	Weiterentwicklung des Rechenprogramms EMOS zur Durchführung von Langzeitsicherheitsanalysen
02E8845 01/96 bis 12/99	GRS Braunschweig	Aktualisierte Langzeitsicherheitsanalyse für wärmeerzeugende Abfälle im Salinar
02E8855 04/96 bis 01/00	GRS Braunschweig	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern
02E8916 04/96 bis 10/99	TU Clausthal	Mobilisierung und Immobilisierung endlagerrelevanter Elemente

02E9037 01/97 bis 06/00	BGR	Zweiphasenfluss-Experimente im geklüfteten wasserführenden Kristallin > Gastransport in geklüfteten teilgesättigten Gebirgen <
02E9077 01/98 bis 02/99	TU Clausthal	Erprobung geostatistischer Rechenprogramme zur Rechenzeitverkürzung bei der 3-D-Modellierung von Heterogenitäten und Anisotropien in ausgedehnten hydrogeologischen Strömungsmodellen > Teil 1: Mikro- und Makroklüfte <
02E9148 10/98 bis 06/03	GRS Braunschweig	Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransportes
02E9178 01/99 bis 09/03	GRS Braunschweig	Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)
02E9239 02/00 bis 03/05	GRS Braunschweig	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern
02E9370 06/00 bis 05/03	Uni Stuttgart	Weiterentwicklung von Simulationstechniken für Gas-Wasser-Prozesse in geklüftet-porösen Medien auf der Feldskala
02E9723 07/03 bis 06/06	GRS	Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen
02E9844 01/04 bis 12/07	GRS Braunschweig	NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment
02E9934 08/04 bis 01/08	GRS Braunschweig	Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)
02E9954 11/04 bis 07/08	GRS Braunschweig	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager
02E10276 10/06 bis 03/10	GRS Braunschweig	Weiterentwicklung sicherheitsanalytischer Methoden zur Vorbereitung eines Safety Case in Deutschland
02E10296 10/06 bis 09/10	Universität Bonn	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d3f und r3t
02E10306 10/06 bis 09/10	Universität Freiburg	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d3f und r3t
02E10316 10/06 bis 09/10	Universität Jena	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d3f und r3t
02E10367 04/07 bis 12/10	GRS Braunschweig	Anpassung des EMOS-Programmsystems an moderne Softwareanforderungen
02E10467 09/07 bis 06/10	Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH	Beschreibung des reaktiven Stofftransports in einem salinaren Endlager mit dem Code TOUGHREACT

B7 Validierung von Modellen, Unsicherheitsanalyse

KWA 5203/7 01/82 bis 12/84	BGR	Vergleich thermomechanischer Berechnungen mit thermomechanischen In-situ-Versuchen
KWA 5311/0 06/83 bis 06/88	GSF	Untersuchungen endlagerrelevanter Vorgänge während und nach der Flutung der Kalisalzbergwerkes Hope
KWA 8307/7 06/83 bis 09/88	KBB	Untersuchung relevanter Vorgänge während und nach der Flutung des Kalisalzbergwerkes Hope - Technische Durchführung
02E8121 02/91 bis 08/95	TU Clausthal	Der Stoffbestand mariner Evaporite als Kriterium für die Bewertung der Langzeitsicherheit von Schadstoff-Deponien in Salzvorkommen: Die Bromidverteilung in Carnallitgesteinen
02E8301/1 07/91 bis 06/94	BGR	Modelluntersuchungen zur Bewegung des Grundwassers bei vom Salzgehalt abhängiger Wasserdichte - Fallstudien und Modellvalidierung im Hinblick auf die Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle
02E8431/3 01/91 bis 12/93	BGR	Aussagegenauigkeit dreidimensionaler thermomechanischer Modellrechnungen im Salzgebirge (Aussagesicherheit)
02E8745 10/95 bis 01/97	Stoller	Auswertung von russischen Experimenten zum Nachweis der Stabilität von Salzstöcken nach der Freisetzung extremer Energiemengen im Steinsalzmassiv
02E8865 01/96 bis 12/98	GRS Braunschweig	Validierung von Einzeleffekten in Grundwassermodellen
02E8926 06/96 bis 05/98	GRS Braunschweig	Untersuchung der Uran-Thorium-Mobilisation als natürliches Analogon für den Radionuklidtransport im Deckgebirge eines Endlagers für radioaktive Abfälle
02E8996 09/96 bis 09/97	GRS Braunschweig	Untersuchung von Altversatz als Analogon zur Konvergenz und Kompaktierung versetzter Strecken über lange Zeiträume - Phase 1 -
02E9067 10/97 bis 04/00	TU Clausthal	U-Th-Isotopenverteilung als natürliches Analogon zur Mobilität von Actiniden in granitischen Gesteinen
02E9128 07/98 bis 08/01	GRS Braunschweig	Tertiäre Sedimente als Barriere für die U/Th-Migration im Fernfeld von Endlagern
02E9410 10/00 bis 09/02	TU Clausthal	Transport und Rückhaltung von Schadstoffen in alterierten Kluftbereichen des HRL Äspö
02E9551 09/01 bis 07/05	GRS Braunschweig	Anwendung von Transportprogrammen auf die Nuklidmigration in natürlichen Gesteinsformationen mit Feldmessungen
02E9813 11/03 bis 07/07	GRS Braunschweig	Entwicklung eines Instrumentariums zur Berechnung des Radionuklidtransports in Tonformationen
02E9995 06/05 bis 05/09	GRS Braunschweig	Grundlegende Prozesse zum Radionuklidtransport im Fernfeld eines Endlagers im Salz - Kurztitel FUNMIG-RTDC-5

NN Evaluierung Forschungsaktivitäten

02E9783 09/03 bis 09/08	GRS Braunschweig	Handbuch der Endlagerung - Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen
-----------------------------------	---------------------	--

02E9793 09/03 bis 09/08	Öko-Institut e.V.	Handbuch der Endlagerung - Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen
02E10346 01/07 bis 12/08	DBE Technology GmbH	Entwicklung und Umsetzung von technischen Konzepten für tiefe geologische Endlager in allen Wirtsgesteinen
02E10498 05/08 bis 04/09	GRS Braunschweig	Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz (Vorprojekt) - Kurztitel VIRTUS
02E10628 09/08 bis 04/10	Öko-Institut e.V.	Behandlung sozialwissenschaftlicher Aspekte im Safety Case

C ANPASSUNG UND WEITERENTWICKLUNG DER KERNMATERIALÜBERWACHUNG AN DIE BEDINGUNGEN DER DIREKTEN ENDLAGERUNG

C1 Erstellung und Anpassung von Überwachungskonzepten

KWA 3303/1 04/83 bis 03/85	KFA	Studie über Kernmaterialüberwachung bei der Direkten Endlagerung
KWA 3307/5 07/83 bis 12/83	NOELL	Untersuchung zur Überprüfung der Zugänglichkeit von abgebrannten Brennelementen
02E8371/9 01/91 bis 03/94	DBE	Untersuchung der Nichtrückholbarkeit von eingelagertem Kernmaterial
02W6174 02/94 bis 12/96	KFA	Nukleare Nichtverbreitung und Safeguards unter veränderten politischen und technischen Bedingungen
02W6206 01/97 bis 12/98	FZJ	Internationale Kernmaterialkontrolle vor neuen politischen und technischen Herausforderungen
02W6228 01/99 bis 12/01	FZJ	Das „Gestärkte Safeguardsystem“ und die Nichtverbreitungs-Herausforderungen, Perspektiven und innovative Lösungsansätze
02W6232 06/02 bis 09/05	Forschungszentrum Jülich GmbH	Internationale Safeguards- und Technologiekontrolle unter neuen technologischen und politischen Rahmenbedingungen
GP-Nr. A.13	GNS	Sicherheitsmaßnahmen für die Pilot-Konditionierungsanlage: Weiterentwicklung eines Instruments zur Identifizierung von Behälterschweißnähten mittels Ultraschall
GP-Nr. A.14	FZJ	Sicherungsmaßnahmen für die Direkte Endlagerung von Kernmaterialien einem geologischen Endlager: Untersuchung geophysikalischer Messungen

C2 Neue Techniken

02E8381 01/91 bis 06/94	BGR	Ortung und Überwachung von Brennelement-Behältern mit elektromagnetischen Reflexionsmessungen
02W6218 01/99 bis 12/02	FZJ	Entwicklung digitaler Safeguards-Techniken zu Verbesserung der Effektivität und der Kosteneffizienz und Anpassung an das neue Safeguardsystem IN FCIRC/540

C3 Aufnahme, Auswertung, Zusammenführung und Fernübertragung von Daten

02E8735 01/95 bis 11/95	DBE	Untersuchung zur Verwendung von elektro-optischen Messverfahren für Überwachungsmaßnahmen im Endlager
02W6194 02/94 bis 12/96	FZR	Miniaturisierter Vielkanalanalysator - Modul

02W6184 02/94 bis 12/98	FZJ	Verbesserung von Safeguards durch Datenfernübertragung und Auswertung von Satellitendaten
GP-Nr. D.26	FZJ	Entwicklung des digitalen Kamerasystems mit digitaler Aufzeichnungs- und Überprüfungsmöglichkeit auf der Basis des VXI-Bus

A4 Verzeichnis laufender Forschungsvorhaben (Projektförderung) zur untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle

Im Folgenden sind die laufenden Forschungsvorhaben (Stand 12/2010) für den Bereich der untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle in der Struktur des Förderkonzeptes „Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen (1997-2001)“ aufgelistet (BMBF-finanziert). Des Weiteren sind die zur Thematik Altbergbau gehörenden Vorhaben aufgeführt.

A Weiterentwicklung von Untertagedeponiekonzeptionen unter Sicherheitsgesichtspunkten

A1 Abfallcharakterisierung und -klassifizierung

A2 Wissenschaftliche Grundlagen für Sicherheitsanforderungen

A3 Weiterentwicklung von Einlagerungs-, Handhabungs- und Überwachungstechniken

A4 Charakterisierung und Eigenschaften potentieller Wirtsgesteinsformationen

A5 Geotechnische Barrieren

B Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Untertagedeponien

B1 Szenarienentwicklung

B2 Verhalten der Wirtsgesteinsformation

B3 Chemische und physikalische Effekte im Nahfeld

02C1628	GRS	Werkzeuge und Daten für die Geochemische Modellierung -
01/09 bis 12/11	Braunschweig	Phase 2, Kurztitel: WEDA

B4 Verhalten von geotechnischen Barrieren

02C1638	GRS	Bentonit als Barrierematerial für den Abschluss von Untertage- deponien – Abschließende Versuche und eine Zusammen- stellung von Wissenschaft und Technik (Kurztitel: Bentonit- Barrieren)
01/09 bis 12/11	Braunschweig	

B5 Verhalten von geologischen Barrieren

B6 Methodenentwicklung und Rechenprogramme für Sicherheitsbewertungen

B7 Validierung von Modellen, Unsicherheitsanalyse

AB Altbergbau (Sicherheitsforschung für Bergbauregionen)

A5 Verzeichnis abgeschlossener Vorhaben (Projektförderung) zur untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle

Im Folgenden sind die abgeschlossenen Forschungsvorhaben (Stand 12/2010) für den Bereich der untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle in der Struktur des Förderkonzeptes „Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen (1997-2001)“ aufgelistet. Des Weiteren sind die zur Thematik Altbergbau gehörenden Vorhaben aufgeführt.

A WEITERENTWICKLUNG VON UNTERTAGEDEPONIEKONZEPTIONEN UNTER SICHERHEITSGESICHTSPUNKTEN

A1 Abfallcharakterisierung und –klassifizierung

02C0051 03/92 bis 05/95	GSF	Auswahl und Untersuchung untertagerelevanter Abfallarten
02C0133 05/93 bis 05/94	ERCOSPLAN Erfurter Consulting- und Planungsbüro GmbH	Untersuchung des Langzeitverhaltens von Rückständen aus der Braunkohlenveredlung bei einer Untertagedeponie unter den Geogenen Bedingungen des Kali- und Steinsalzbergbaus
02C0284 01/95 bis 12/95	GSF	Erprobung und Anpassung ökotoxikologischer Methoden zur Bewertung UTD-relevanter Abfall-Eluate
02C0415 01/96 bis 12/97	GRS Braunschweig	Erprobung und Anpassung ökotoxikologischer Methoden zur Bewertung UTD-relevanter Abfall-Eluate
02C0506 08/96 bis 07/99	GRS Braunschweig	Erweiterung und Übertragung von Untersuchungsmethoden für die untertägige Einbringung von Abfällen - Realitätsnahe Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des Langzeitverhaltens -
02C0679 10/99 bis 11/01	GRS Braunschweig	Erstellung und Nutzung einer Datenbank zur Bestandsaufnahme und Bewertung methodenabhängiger Informationen zum Mobilisationsverhalten und zum Schadstoffpotential von organisch und anorganisch belasteten Feststoffen
02C0689 10/99 bis 09/04	GRS Braunschweig	Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien

A2 Wissenschaftliche Grundlagen für Sicherheitsanforderungen

02C0294 01/95 bis 07/97	BGR Berlin	Tiefversenkung von Abwässern und flüssigen Abfällen in den östlichen Bundesländern
-----------------------------------	------------	--

A3 Weiterentwicklung von Einlagerungs-, Handhabungs- und Überwachungs- techniken

02WS8845 09/88 bis 12/88	NGS	Experimentaluntersuchungen zur Ablagerung von Abfällen in Salzkavernen - Teilvorhaben: Abfallerhebung und Projektdefinitionsphase
02WA8937 07/89 bis 09/92	NGS	Experimentaluntersuchungen zur Ablagerung von Abfällen in Salzkavernen
02C0123 05/93 bis 01/96	Kali+Salz	Dickstoffverfahren zur langzeitsicheren Verbringung von chem./tox. Abfall-/Reststoffen mit bergbaueigenen Reststoffen als aushärtender Versatz in Hohlräume des Kalibergbaus bzw. zur Resthohlraumverfüllung
02C0143 04/93 bis 03/94	BSM Beratungsgesellschaft für Umweltfragen	Systemanalytische Untersuchung zu Förder- und Einlagerungstechniken für die Untertägige Entsorgung von Rest- und Abfallstoffen
02C0183 10/93 bis 05/96	RWTH Aachen	Gegenüberstellung und vergleichende Bewertung unterschiedlicher Konzepte zur untertägigen Deponierung chem./tox. Abfälle
02C0214 01/94 bis 03/96	Uni Konstanz	Vergleich von oberirdischer und untertägiger Entsorgung umweltgefährdender Stoffe unter Berücksichtigung von Langzeiteffekten
02C0334 01/95 bis 01/96	K-UTEC	Entsorgung von Autoshreder-Leichtfraktion mit dem Dickstoffverfahren in untertägige Hohlräume des Kalibergbaus - Erarbeitung der Verfahrensgrundlagen -
02C0486 01/97 bis 04/00	Uni Magdeburg	Grundlagenuntersuchungen zum Dickstoffverfahren mit chemisch/toxischen Abfällen, insbesondere MVA-Filteraschen, im Salinar

A4 Charakterisierung und Eigenschaften potentieller Wirtsgesteinsformationen

02C0011 10/91 bis 07/95	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Systemanalyse über die Nutzung untertägiger Hohlräume des Steinkohlen-, Erz-, Salz- und Kalkbergbaus zur umweltverträglichen Verbringung von Abfällen mit chem./tox. Inhaltsstoffen
02C0102 01/93 bis 01/95	Fraunhofer-Izfp	Inverse Methoden der Schallemissionsanalyse zur quantitat. Bestimmung von Auflockerungszonen insbes. der Lage, der Orientierung und der Bruchfläche von Rissen im Wirtsgestein von UTD
02C0204 01/94 bis 12/95	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Auflockerungszone um Hohlräume im Steinsalzgebirge

02C0425 01/96 bis 03/98	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Auflockerungszone um Hohlräume im Steinsalzgebirge
02C0527 10/97 bis 03/01	Technische Universität Bergakademie Freiberg	In-situ-Ermittlung von Strömungskennwerten natürlicher Salzgesteine in Auflockerungszonen gegenüber Gas und Salzlösungen unter den gegebenen Spannungsbedingungen im Gebirge
02C0537 10/97 bis 12/01	Fraunhofer-IzFP	Entwicklung und In-situ-Test akustischer Verfahren zur zerstörungsfreien Beurteilung von Auflockerungszonen im Salinar
02C0588 07/98 bis 12/01	Technische Universität Clausthal	Mechanische und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen des grubenraumnahen Gebirges in Verbindung mit der Planung von Damm- und Verschlussbauwerken im Salinar - Teil A: Mechanische Modellbildung und mechanisch-hydraulische Tragwerksanalyse
02C0598 07/98 bis 12/01	Technische Universität Clausthal	Mechanische und hydraulische Eigenschaften von Auflockerungszonen des grubennahen Gebirges in Verbindung mit der Planung von Damm- und Verschlussbauwerken in Salinar - Teil B: Hydraulische Modellbildung
02C0820 01/01 bis 03/04	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Zeitliche Veränderungen der Ausdehnung und der hydraulischen Eigenschaften von Auflockerungszonen um Hohlräume in Gesteinen mit visko-plastischen Eigenschaften
02C0841 07/01 bis 06/05	Technische Universität Clausthal	Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten
02C0851 07/01 bis 09/03	Fraunhofer-IzFP	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geosonar- und Ultraschallverfahren
02C0861 07/01 bis 12/03	Universität Leipzig	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geoelektrik, Seismik, Geologie
02C0871 07/01 bis 12/03	Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA)	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Elektromagnetik, Georadar, Quantitative Charakterisierung von Problemzonen -
02C1074 07/04 bis 08/08	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)	Verbundvorhaben: "Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens", Teilvorhaben "Weiterentwicklung der räumlichen Auswertung von richtungssensitiven EMR-Bohrlochmessdaten"
02C1084 07/04 bis 08/08	Bergische Universität Wuppertal	Verbundvorhaben: "Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens", Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems
02C1094 07/04 bis 08/08	Deutsche Montan Technologie GmbH	Verbundvorhaben: "Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens", Teilvorhaben: Entwicklung und Bau der Steuer- und Digitalisierungseinheit, der mechanischen Komponenten und der Datenerfassungseinheit

02C1184 08/04 bis 05/08	Fraunhofer-IzFP	Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar
02C1194 08/04 bis 05/08	Technische Universität Ilmenau	Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthfrequenz-Radar
02C1305 06/05 bis 10/08	Universität Leipzig	Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt Uni Leipzig: Geologie, Geoelektrik, Seismik und Szenarienmodellierung
02C1315 06/05 bis 10/08	Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA)	Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt GGA: Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von Problemzonen
02C1325 06/05 bis 10/08	Fraunhofer-IzFP	Verbundprojekt: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. Teilprojekt FhG: Sonarverfahren

A5 Geotechnische Barrieren

02C0234 03/94 bis 12/95	GSF	Schachtverschlüsse für untertägige Deponien in Salzbergwerken - Vorprojekt -
02C0496 03/97 bis 01/99	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Untersuchung und Bewertung alter Spülversatzkörper aus bergbaueigenen Rückständen der Kaliindustrie hinsichtlich der Eignung für Verschlussarbeiten in UTD
02C0516 08/96 bis 09/02	Kali und Salz	Schachtverschlüsse für untertägige Deponien in Salzbergwerken - Forschungsvorhaben Schachtverschluß Salzdettfurth Schacht SA II
02C0547 10/97 bis 03/03	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckenverschlußbauwerke für UTD im Salinar; Bau und Test eines Versuchsverschlußbauwerkes unter realen Bedingungen
02C0699 10/99 bis 09/01	Kali-Umwelttechnik GmbH	Untersuchungen zur Entwicklung, Anwendung und Eignung von mineralischen Gelen und Bindemittelsystemen auf Sorelbasis zur Einbettung und Sorption schadstoffhaltiger Abfallstoffe und zur Verbesserung der Barrierewirkung von Versatz
02C0902 01/02 bis 12/02	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Wissenschaftlich - technisches Programm für den Rückbau des in situ getesteten Versuchsverschlussbauwerkes in der Grube Sondershausen
02C0922 05/02 bis 06/09	Universität Fride-riciana zu Karls-ruhe (TH)	Verschlosssystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität

02C0942 10/02 bis 10/04	GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG	Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV
-----------------------------------	---	--

B VERBESSERUNG VON INSTRUMENTARIEN FÜR DIE SICHERHEITSBEWERTUNG VON UNTERTAGEDEPONIEEN

B1 Szenarientwicklung

02C0314 05/95 bis 06/96	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Interdisziplinäre Untersuchungen zur Langzeitsicherheit einer UTD im Salinar unter dem Gesichtspunkt des Lösungszutritts - Präzisierung der Anforderungen für eine Modellierung -
02C0324 04/95 bis 06/96	K-UTEC	Interdisziplinäre Untersuchungen zur Langzeitsicherheit einer UTD unter dem Gesichtspunkt eines Lösungszutritts - Zusammenstellung und Bewertung von Beobachtungen in der Natur -
02C0344 08/95 bis 04/97	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Flutungsphänomene als Fluidbarriere

B2 Verhalten der Wirtsgesteinsformation

02C0062 04/92 bis 03/95	IfG Leipzig	Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern für umweltgefährdende Abfälle in Salzformationen der flachen Lagerung im Zusammenhang mit dem Verformungs- und Bruchverhalten in und um Grubengebäude
02C0092 11/92 bis 11/96	TU Clausthal	Modellversuche an axial gelochten Steinsalz-Großbohrkernen im Hinblick auf die Überprüfung und Erweiterung theoretischer Prognosemodelle zum Sicherheitsnachweis von Untertagedeponien
02C0264 04/95 bis 12/99	IfG Leipzig	Untersuchungen zum Spröbruchverhalten von Carnallit und seiner Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit von UTD
02C0274 04/95 bis 12/99	IfG Leipzig	Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von UTD in Salzformationen der flachen Lagerung im Zusammenhang mit dem Verformungs- und Bruchverhalten - Phase II: Fortführung und Abschluss Geotechnischer In-situ-Messungen
02C0649 01/00 bis 12/02	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von UTD in Salzformationen der flachen Lagerung im Zusammenhang mit dem Verformungs- und Bruchverhalten - Phase III
02C0720 10/00 bis 03/06	Technische Universität Clausthal	Weiterentwicklung eines Prognosemodells zum Barrierenintegritäts- und Langzeitsicherheitsnachweis für Untertagedeponien mit Berücksichtigung von Gefügeschädigung und Schädigungsverheilung auf der Grundlage der Continuum-Damage-Theorie

02C0892 01/02 bis 12/04	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen
02C0952 10/02 bis 03/08	Technische Uni- versität Clausthal	Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge
02C1004 04/04 bis 11/06	Dr. Andreas Hampel	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen - Teilvorhaben 1
02C1014 04/04 bis 11/06	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen - Teilvorhaben 2
02C1024 04/04 bis 11/06	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen - Teilvorhaben 3
02C1034 04/04 bis 11/06	Technische Uni- versität Clausthal	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen - Teilvorhaben 4
02C1044 04/04 bis 11/06	Universität Han- nover	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen - Teilvorhaben 5
02C1054 04/04 bis 11/06	KIT (Großfor- schung)	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen - Teilvorhaben 6
02C1355 09/05 bis 12/09	Technische Uni- versität Clausthal	Weiterentwicklung der EDV-Software INFIL zur Simulation des druckgetriebenen Infiltrationsprozesses von Fluiden in ein nicht permeables Barrieren-Gebirge (Salinar)
02C1566 10/06 bis 03/07	Technische Uni- versität Clausthal	Grundlagenuntersuchungen zur Unterdrückung der Auflockerungszone in Strecken des Salinar
02C1577 08/07 bis 07/10	Dr. Andreas Hampel	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz - Teilvorhaben 1
02C1587 08/07 bis 07/10	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz - Teilvorhaben 2
02C1597 08/07 bis 07/10	KIT (Großfor- schung)	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz - Teilvorhaben 3
02C1607 08/07 bis 07/10	Universität Han- nover	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerks im Steinsalz - Teilvorhaben 4

02C1617 Technische Uni- Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorge-
08/07 bis 07/10 versität Clausthal hensweisen anhand von 3D-Modellberechnungen zum me-
chanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebau-
werks im Steinsalz - Teilvorhaben 5

B3 Chemische und physikalische Effekte im Nahfeld

02C0021 TU Berlin Untersuchung des Langzeitverhaltens in situ-verfestigter
10/91 bis 07/95 Abfallstoffe in untertägigen Hohlräumen

02C0031 TU Clausthal Untersuchungen zum Langzeitverhalten chem. immobilisiert.
10/91 bis 06/95 Abfall- und Reststoffe in untertägigen Hohlräumen

02C0072 GRS Exemplarische Untersuchungen von Wechselwirkungsreakti-
10/92 bis 11/95 Braunschweig onen chem./tox. Abfälle mit hochsalinaren Lösungen

02C0082 TU- Der Einfluß des interaktiven Verhaltens von Gebirge und
11/92 bis 12/95 Braunschweig Deponat auf die geotechnische Sicherheitsbeurteilung unter-
irdischer Entsorgungsanlagen

02C0163 GRS Gaserzeugung und -freisetzung in Abfällen und deren Aus-
07/93 bis 12/95 Braunschweig breitung im umgebenden Gebirge

02C0173 GRS Charakterisierung von mineralisierten Tiefengrundwässern in
07/93 bis 12/95 Braunschweig nichtsalinaren Festgesteinen - Untersuchung von Wechsel-
wirkungsreaktionen mit Abfällen bei der immissionsneutralen
Ablagerung

02C0435 GRS Charakterisierung von mineralisierten Tiefengrundwässern in
01/96 bis 06/96 Braunschweig nichtsalinaren Festgesteinen - Untersuchungen von Wechsel-
wirkungsreaktionen mit Abfällen bei der immissionsneutralen
Ablagerung

02C0445 GRS Gaserzeugung und -freisetzung in Abfällen und deren Aus-
01/96 bis 06/96 Braunschweig breitung im umgebenden Gebirge

02C0385 TU Berlin Untersuchung des langfristigen Gefährdungspotentials anor-
08/95 bis 10/97 ganischer Rückstände bei deren Integration in Schicht- und
Sedimentgestein

02C0395 TU Clausthal Untersuchungen zur dauerhaften Immobilisierung schad-
08/95 bis 07/99 stoffhaltiger Rückstände unter Berücksichtigung der Barrier-
ewirkung kompakter Wirtsgesteine

02C0405 Technische Uni- Erstellung einer Datenbasis zur Modellierung der Wechsel-
09/95 bis 01/98 versität Bergaka- wirkung von chrom-, kupfer- und nickelhaltigem Deponiegut
demie Freiberg mit Lösungen des Salzgesteins einer UTD

02C0475 GRS Experimentelle Untersuchungen und geochemische Model-
10/95 bis 09/98 Braunschweig lierung zum Verhalten schwermetallhaltiger chemisch-
toxischer Abfälle in UTD in Salzformationen

02C0608 GRS Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienah-
07/98 bis 06/01 Braunschweig feld einer UTD (Geochemische Barriere)

02C0710 07/00 bis 09/04	GRS Braunschweig	Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus Abfalldeponien und Alt- und Umweltlasten
02C0912 05/02 bis 12/05	GRS Braun- schweig	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien Kurztitel: SiAl
02C0963 10/03 bis 10/05	GRS Braun- schweig	Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands (Kurztitel: Laugen Mitteldeutschland)
02C0973 09/03 bis 01/07	GRS Braun- schweig	Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen
02C0983 09/03 bis 09/07	GRS Braun- schweig	Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen
02C0993 09/03 bis 10/08	GRS Braun- schweig	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30°C bis 90°C
02C1244 04/05 bis 09/09	GRS Braun- schweig	Prognose der Redoxeigenschaften natürlicher wäßriger Lösungen
02C1254 01/05 bis 03/09	GRS Braun- schweig	Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD
02C1426 07/06 bis 09/09	GRS Braun- schweig	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis
02C1436 07/06 bis 09/09	Forschungs- zentrum Dresden- Rossendorf	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis
02C1446 07/06 bis 09/09	Technische Uni- versität Bergaka- demie Freiberg	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis

B4 Verhalten von geotechnischen Barrieren

02C0304 12/94 bis 06/97	TU Clausthal	Entwicklung und Erprobung von kontrollierbaren Verfahren zur Verbesserung der Barrierenwirkung des nicht-salinaren Wirtsgesteins oder Deckgebirges im Bereich von Auflockerungs- und Störzonen
02C0193 11/93 bis 09/97	Technische Uni- versität Bergaka- demie Freiberg	Materialuntersuchungen für Mehrkomponentensysteme auf Ton/Bentonit-Basis für Dichtung und Lastabtrag mit hohem Rückhaltevermögen für den langzeitsicheren Verschuß von UTD und Endlagern im Salinar
02C0659 07/99 bis 12/01	GRS Braunschweig	Langzeitstabilität von Tondichtungen in Salzformationen

02C0669 10/99 bis 03/03	GRS Braunschweig	Hydraulische Kennwerte von tonhaltigen Mineralgemischen zum Verschluss von Untertagedeponien
02C0800 11/00 bis 01/04	MFPA an der Bauhaus- Universität Wei- mar	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlußbauwerken in salinärer Umgebung
02C0810 11/00 bis 10/03	Forschungs- zentrum Karlsruhe GmbH	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlußbauwerken in salinärer Umgebung
02C0830 11/00 bis 10/04	GRS Braunschweig	Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar
02C0881 08/01 bis 07/04	Bauhaus- Universität Wei- mar	Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement
02C1064 05/04 bis 02/09	Material- forschungs- und - prüfanstalt an der Bauhaus- Universität Wei- mar	Weiterentwicklung eines TDR-Messverfahrens zur Quantifizierung von Feuchte- und Dichteverteilungen in Bentonitversuchsbauelementen
02C1104 08/04 bis 12/08	Bauhaus- Universität Wei- mar	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme
02C1114 01/05 bis 12/08	Eberhard-Karls- Universität Tü- bingen	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme
02C1124 10/04 bis 09/08	Technische Uni- versität Bergaka- demie Freiberg	Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauelemente
02C1134 07/04 bis 10/08	Technische Uni- versität Clausthal	Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Unter-Tage-Deponien und Endlagern
02C1204 11/04 bis 06/10	GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG	Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit); Teil 2: Erprobung von Funktionselementen in situ
02C1214 01/05 bis 07/07	Kali- Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungs- institut	Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar - Hauptprojekt
02C1224 01/05 bis 07/07	Bauhaus- Universität Wei- mar	Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlusselement im Salinar. Teilprojekt Bauhaus Uni: Experimentelle Untersuchungen zur Struktur, dem Abbindeverhalten, der Kompressibilität und den volumetrischen Eigenschaften

02C1234 01/05 bis 07/07	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Verbundprojekt: Weiterentwicklung von Magnesiabindern von der Strömungsbarriere hin zu einem Verschlussbauwerk im Salinar. Teilprojekt IfG: Untersuchungen der mechanischen Anforderungen und Eigenschaften
02C1275 05/05 bis 03/09	Technische Uni- versität Clausthal	Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM-Transportprozesse. Teilprojekt TUC: Gekoppelte Modellierung des C:HM Verhaltens von selbstverheilendem Salzversatz
02C1285 05/05 bis 03/09	GRS Braun- schweig	Verbundprojekt: Kopplung numerischer Modelle für C:HM-Transportprozesse. Teilprojekt GRS: Laborversuche und Geochemische Modellierung
02C1295 05/05 bis 03/09	Eberhard-Karls- Universität Tü- bingen	Verbundprojekt: Kopplung Numerischer Modelle für C:HM-Transportprozesse. Teilprojekt Uni Tübingen: Validierung Numerischer Modelle für geochemische Prozesse in geotechnischen Dichtelementen
02C1335 06/05 bis 02/10	GRS Braun- schweig	Qualifizierung von Strömungsbarrieren in Salzformationen, Phase 1 bis Phase 4
02C1395 10/05 bis 09/09	Kali- Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungs- institut	Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar - Teilprojekt 1
02C1405 10/05 bis 09/09	Technische Uni- versität Clausthal	Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar - Teilprojekt 2
02C1415 10/05 bis 09/09	Technische Uni- versität Clausthal	Verbundprojekt: Optimierung von Magnesiabindersystemen für die Verwendung in Verschlussbauwerken für untertägige Deponien und Endlager für radioaktive Abfälle im Salinar - Teilprojekt 3

B5 Verhalten von geologischen Barrieren

02C0558 07/98 bis 06/01	Universität Leipzig	Komplexes Meß- und Auswerteeinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und UTD im Salinar - Geologie, Einbeziehung von Geoelektrik und Seismik
02C0568 07/98 bis 06/01	Fraunhofer-IzfP	Komplexes Meß- und Auswerteeinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponie im Salinar - Einbeziehung von Sonarverfahren
02C0578 07/98 bis 06/01	Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA)	Komplexes Meß- und Auswerteeinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und UTD im Salinar - Einbeziehung elektromagnetischer Verfahren
02C0618 09/98 bis 08/01	GRS Braunschweig	Erstellung einer Datenbank zur Bestandsaufnahme und Bewertung geochemischer Informationen zum Verhalten von Abfallinhaltsstoffen im Deckgebirge einer UTD/UTV (Sorptionsdatenbank Chemieabfälle)
02C0639 01/00 bis 12/01	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar
02C0709 10/99 bis 12/02	Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig	Geochemische Untersuchungen zur Retention von geogenen / anthropogenen Kohlenstoffverbindungen für toxische Schwermetalle
02C0932 01/03 bis 03/06	Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung e.V. an der Universität Leipzig	Georadiochemische Untersuchungen zur Rückhaltung und Mobilisierung von chemotoxischen Schwermetallspezies durch Natural Organic Matter (NOM)
02C1144 10/04 bis 04/08	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V. (FZD)	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-FZD)
02C1154 10/04 bis 04/08	Deutsche Montan Technologie GmbH	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-DMT)
02C1164 10/04 bis 04/08	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-GRS)
02C1174 10/04 bis 04/08	EnviCon Dr. Veerhoff & Scherschel GbR	Verbundprojekt: Integriertes Sorptions-Datenbanksystem für Wechselwirkungen chemisch-toxischer und radioaktiver Kontaminanten mit mineralischen Systemen in geologischen Formationen (ISDA-EnviCON)

02C1264 01/05 bis 04/09	IfG Institut für Gebirgs- mechanik GmbH	Beweissicherungsprogramm zum geomechanischen Verhalten von Salinarbarrieren nach starker dynamischer Beanspruchung und Entwicklung einer Dimensionierungsrichtlinie zum dauerhaften Einschluss
02C1456 10/06 bis 12/09	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V. (FZD)	Bestimmung der Änderung des räumlichen und zeitlichen Ausbreitungsverhaltens von chemotoxischen Schwermetallen nach Wechselwirkung mit Natural Organic Matter (NOM) in geologischen Formationen von Untertagedeponien

B6 Methodenentwicklung und Rechenprogramme für Sicherheitsbewertungen

02C0153 07/93 bis 12/95	GSF	Entwicklung eines Nahbereichsmodells für Langzeitsicherheitsanalysen von Salzkavernen mit chem./tox. Abfällen
02C0224 01/94 bis 03/98	GRS Köln	Entwicklung und Anwendung analytischer Methoden zur Eignungsuntersuchung der Verbringung bergbaufremder Rückstände in dauerhaft offene Grubenräume im Festgestein
02C0244 04/94 bis 08/97	Technische Uni- versität Bergaka- demie Freiberg	Entwicklung von Verfahren und Programmen zur Kalibrierung von Strömungs- und Transportmodellen
02C0254 10/94 bis 12/95	GSF	Entwicklung eines schnellen Programms zur Modellierung von Grundwasserströmungen mit variabler Dichte
02C0365 08/95 bis 07/98	BGR	Arbeiten zur Modellierung von Grundwasserströmungen mit variabler Dichte -Testrechnungen und Modellanwendungen im Hinblick auf Verifizierung/Validierung des in Entwicklung befindlichen schnellen Grundwasserprogramms
02C0455 01/96 bis 06/96	GRS Braunschweig	Entwicklung eines Nahbereichsmodells für Langzeitsicherheitsanalysen von Salzkavernen mit chem./tox. Abfällen
02C0465 01/96 bis 03/98	GRS Braunschweig	Entwicklung eines schnellen Programms zur Modellierung von Grundwasserströmungen mit variabler Dichte
02C0628 01/99 bis 03/03	GRS Braunschweig	Modellrechnungen zur großräumigen dichteabhängigen Grundwasserbewegung
02C1345 08/05 bis 05/07	Öko-Institut e.V. - Institut für ange- wandte Ökologie	Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle

B7 Validierung von Modellen, Unsicherheitsanalyse

02C0113 07/93 bis 11/97	IFAG	Validierungsverfahren für Prognoserechnungen zur Standsicherheit der Grubengebäude von Endlagern Chemisch-Toxischer Abfälle (Flache Lagerstätte, Weiterlaufender Abbau) durch Verwendung eines Arrays von Hochauflösenden Strainmetern
02C0354 08/95 bis 12/98	TU Clausthal	Genese, Mobilisierung und Migration fluider Komponenten in Salinargesteinen als natürliche Analoga für Mineralreaktionen und Stofftransporte in Untergrund-Deponien
02C0375 08/95 bis 07/98	GRS Köln	Anwendung von Qualitätssicherungsmaßnahmen sowie Durchführung von Test- und Verifizierungsrechnungen zur Qualifizierung des in Entwicklung befindlichen schnellen Grundwasserprogramms

AB Altbergbau (Sicherheitsforschung für Bergbauregionen)

02C0730 10/00 bis 02/02	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 1: Gesamtprojektkoordinierung, geochemische Untersuchungen und Monitoring
02C0740 10/00 bis 09/01	Technische Universität Clausthal	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 2: Gebirgsmechanische Analyse des Bergschadensgebietes Staßfurt
02C0750 10/00 bis 02/02	Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 3: Bergschadensbewertung, Geohydraulik und Sanierungsmaßnahmen
02C0760 10/00 bis 02/02	Brandenburgische Technische Universität Cottbus	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Bspiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 4: Thermodyn. Modellierung, Abdichtsysteme von Altablagern, Gesamtbewert. Gefährdungspotent.
02C0770 10/00 bis 02/02	IHU Geologie und Analytik Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen - Teilvorhaben 5: Struktur- und Hydrogeol. Analyse im Bergschadensgebiet Staßfurt - Entwicklung Hydr. Sicherungs- und Sanierungskonzepte
02C0780 10/00 bis 09/01	Geophysik GGD Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste mbH	Verbundprojekt: Maßnahmen der nachhaltigen Gefahrenabwehr für Altlasten in Gebieten mit bergbaubedingten Destabilisierungsvorgängen am Beispiel der Stadt Staßfurt - Teilvorhaben 6: Geophysikalische Erkundung - Seismik
02C1466 09/06 bis 12/10	Brandenburgische Technische Universität Cottbus	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV1: Hydrologie und Geochemie des Gesamtsystems
02C1476 09/06 bis 12/10	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV2: Geophysikalische Untersuchungen, Seismische Erkundung, Geologisches 3D-Modell, Bohrungen, Server-Datenbank, Koordination des Vorhabens
02C1486 09/06 bis 12/10	Technische Universität Clausthal	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV3: Geomechanische Modellierung
02C1496 09/06 bis 12/10	Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV4: Grundlagen für die Geomodellierung

02C1506 09/06 bis 12/10	IHU Geologie und Analytik Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV5: Erfassung, Bewertung und Darstellung der Strukturgeologie und Hydrochemie
02C1516 09/06 bis 12/10	Wasy Gesellschaft für Wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV6: Strömungs- und Transportmodellierung
02C1526 09/06 bis 12/10	Johannes Gutenberg-Universität Mainz	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV7: Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität
02C1536 09/06 bis 12/10	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V. (FZD)	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV8: Tomographische Radiotraceruntersuchungen und Fluoreszenztraceruntersuchungen
02C1546 09/06 bis 12/10	Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LI-AG)	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV9: Deckgebirgseigenschaften über einem bergbaubedingt destabilisiertem Untergrund, abgeleitet aus seismischen Beobachtungen
02C1556 09/06 bis 12/10	Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LI-AG)	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV10: Isotopenhydrologische Untersuchungen

Erläuterungen

BMWi-Projektförderung nuklearer Entsorgungsforschung

Das **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)** ist seit 1998 zuständig für die Projektförderung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (FuE) der anwendungsbezogenen standortunabhängigen Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Entsorgung insbesondere hochradioaktiver, Wärme entwickelnder Abfälle.

Das **Förderkonzept** „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2011 – 2014)“ ist die Grundlage für diese FuE-Aktivitäten.

Wesentliche Ziele dieser Forschungsaktivitäten sind:

- die Bereitstellung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen zur Realisierung eines Endlagers für insbesondere Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle, d.h. für hochradioaktive Abfälle und solche, die nicht für das Endlager Konrad vorgesehen sind;
- die ständige Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik sowie
- ein substantieller Beitrag zu Aufbau, Weiterentwicklung und Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz im Bereich der nuklearen Entsorgung in Deutschland.

Das aktuelle Förderkonzept (2011-2014) stellt das vierte Förderkonzept in Folge dar.

Derzeit steht die erneute Überprüfung und Aktualisierung der Projektförderung für die kommenden Jahre an.

Das **neue Förderkonzept** für die anwendungsbezogene standortunabhängige Grundlagenforschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle in den Jahren **2015 bis 2018** wird derzeit erarbeitet.

Im Auftrag des BMWi hat der zuständige Projektträger Karlsruhe (PTKA) eine Gruppe unabhängiger Sachverständiger einberufen, die einen **Entwurf** erarbeitet, der anschließend im breiteren Kreise erörtert werden soll (Bundesministerien, Forschungseinrichtungen, Universitäten sowie Fachgremien wie z.B. Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung [DAEF], Entsorgungskommission [ESK]). Auch die Beratungen und Empfehlungen der Kommission „Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ werden berücksichtigt werden.

Die **zukünftigen FuE-Inhalte** sollen sich an den Vorgaben des 6. Energieforschungsprogramms orientieren und die durch die EU-Richtlinie 2011/70/EURATOM, das Atomgesetz und das Standortauswahlgesetz (StandAG) vorgegebenen gesetzlichen Rahmenbedingungen berücksichtigen.

Folgende **Änderungen** gegenüber dem bisherigen Förderkonzept zeichnen sich ab:

- Eine verstärkte wirtsgesteinsübergreifende Forschungstätigkeit, insbesondere die Betrachtung von Endlagersystemen in allen relevanten Wirtsgesteinen (Steinsalz, Tongestein, Kristallingestein);
- die Betrachtung längerer Zwischenlagerzeiten insbesondere im Hinblick auf die Sicherheit von Abfällen und Behältern;
- wissenschaftliche Untersuchungen zu alternativen Entsorgungsmethoden, anstelle der direkten Endlagerung in einem Bergwerk;
- die stärkere Einbeziehung von sozio-technischen Fragestellungen, z.B. gesellschaftliche Akzeptanz.

Die Projektförderung des BMWi unterliegt einer kontinuierlichen Überprüfung und Weiterentwicklung, bei der die gesellschaftlichen, politischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen Berücksichtigung finden.