



**PTKA**  
**Projektträger Karlsruhe**  
Karlsruher Institut für Technologie



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

## **Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle**

Förderkonzept des BMWi (2015-2018)

herausgegeben durch

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
Referat IIA5 „Reaktorsicherheits- und Endlagerforschung, Uranbergbausanierung“

und

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

Februar 2015

Projekträger für das



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Herausgeber: Projekträger Karlsruhe  
Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Campus Nord  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen  
Internet: [www.ptka.kit.edu/wte](http://www.ptka.kit.edu/wte)



**PTKA**  
**Projektträger Karlsruhe**  
im Karlsruher Institut für Technologie

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorbemerkung</b> .....	4
<b>1. Herausforderungen der nuklearen Entsorgung</b> .....	5
<b>2. Rahmen und Struktur der nuklearen Entsorgungsforschung</b> .....	10
2.1 Umfeld und Randbedingungen.....	10
2.2 Zuständigkeiten und Aufgabenverteilung.....	11
2.3 Internationale Kooperation .....	13
<b>3. Aktueller Wissensstand</b> .....	18
3.1 FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Steinsalz .....	18
3.2 FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Tonstein / Ton .....	29
3.3 FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Granit (kristalline Gesteine).....	33
3.4 Wirtsgesteinsübergreifende FuE-Arbeiten zur Endlagerung .....	36
<b>4. FuE-Strategie</b> .....	38
4.1 Ziele der BMWi-Projektförderung .....	39
4.2 Strategische Forschungsziele .....	40
4.3 FuE-Bedarf.....	41
4.4 Umsetzung .....	42
<b>5. FuE-Inhalte</b> .....	44
<b>6. Literatur</b> .....	48
 <b>Anhang</b>	
A1 Verzeichnis verwendeter Abkürzungen.....	54
A2 Verzeichnis laufender Forschungsvorhaben (Projektförderung).....	58
A3 Verzeichnis abgeschlossener Forschungsvorhaben (Projektförderung).....	65
A4 Verzeichnis abgeschlossener Vorhaben zur untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle (Projektförderung) .....	93
A5 Fördermittel und -modalitäten .....	108



## Vorbemerkung

Mit dem Förderkonzept „Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (2015 – 2018)“ legt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) die Schwerpunkte seiner Förderpolitik und die förderpolitischen Inhalte für die kommenden Jahre fest.

Es stellt die Basis für die Projektförderung von Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten (FuE) der anwendungsbezogenen, standortunabhängigen Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Entsorgung insbesondere Wärme entwickelnder und langlebiger radioaktiver Abfälle dar, für die das BMWi innerhalb der Bundesregierung federführend zuständig ist. Mit dem Begriff Entsorgung werden die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen sowie spezifische Maßnahmen im Vorfeld der Endlagerung bezeichnet. Unter den spezifischen Maßnahmen zur Vorbereitung der Endlagerung sind u.a. Aktivitäten zur Behandlung und Zwischenlagerung der Abfälle, Arbeiten zur Entwicklung des Endlagerkonzeptes und Demonstrationsversuche zu verstehen, zu denen FuE-Bedarf besteht.

Die durch das BMWi geförderten Forschungsaktivitäten sind auf die folgenden wesentlichen Ziele ausgerichtet:

- Die Schaffung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen zur Realisierung eines Endlagers für insbesondere Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle.
- Die Entwicklung erforderlicher Methoden und Techniken für spezifische Maßnahmen zur Vorbereitung der Endlagerung, sowie für Konzeption, Errichtung, Betrieb und Stilllegung eines Endlagers, verbunden mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik.
- Die Leistung eines substanziellen Beitrags zu Aufbau, Weiterentwicklung und Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz und zur Nachwuchsförderung im Bereich der nuklearen Entsorgung in Deutschland.

Die Inhalte der Projektförderung des BMWi orientieren sich an den forschungspolitischen Vorgaben des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung und den gesetzlichen Rahmenbedingungen, die durch das Atomgesetz (AtG), das Standortauswahlgesetz (StandAG) und die EU-Richtlinie 2011/70/Euratom vorgegeben sind.

Gegenüber dem bisherigen Förderkonzept haben sich daraus folgende thematische Änderungen abgeleitet:

- Eine verstärkte wirtsgesteinsübergreifende Forschungstätigkeit, insbesondere die Betrachtung von Endlagersystemen in allen relevanten Wirtsgesteinen (Steinsalz, Tonstein, kristalline Gesteine).
- 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.

Das vorliegende Förderkonzept stellt das fünfte Förderkonzept in Folge dar und basiert auf den fundierten Ergebnissen jahrzehntelanger Forschung. Zukünftige FuE-Inhalte, die auf Grundlage des vorliegenden Förderkonzeptes realisiert werden sollen, sind unter Berücksichtigung dieses beträchtlichen Wissensstandes der nationalen und internationalen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsaktivitäten so anzulegen, dass anhand bereits vorliegender Erkenntnisse die zielgerichtete Ableitung offener Fragen erfolgt.

Um bei der Erstellung des Förderkonzeptes ein breites Spektrum der fachlichen Kompetenz einzubeziehen und Ergebnisse der politischen Diskussion einfließen zu lassen, führten das BMWi und der beauftragte Projektträger eine breit angelegte Erörterung zu den zukünftigen Förderinhalten durch. Es ist mit Sachverständigen, die mit den Themenschwerpunkten eingehend vertraut sind, detailliert diskutiert und beraten worden. Fachgremien wie der Kompetenz-

verbund Kerntechnik (KVKT) und die Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF) wurden informiert. Ergänzend wurden auch BMWi-Aktivitäten flankierende und in benachbarten Ressorts/Bereichen behandelte Themen zur nuklearen Sicherheitsforschung bei der Erstellung berücksichtigt. Beratungsgremien, wie z.B. die Entsorgungskommission (ESK), wurden einbezogen. Die im politischen Raum agierende „Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ wurde frühzeitig informiert und deren bisherige Erörterungen wurden berücksichtigt.

Das Förderkonzept kann im Fall einer Änderung des politischen oder gesetzlichen Rahmens der Entsorgung radioaktiver Abfälle aktualisiert und an die jeweiligen geänderten Rahmenbedingungen angepasst werden. So könnten z.B. Handlungsempfehlungen der „Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ an den Deutschen Bundestag eine Anpassung oder Präzisierung des Förderkonzeptes bewirken bzw. bei der Projektvergabe berücksichtigt werden.

## **1. Herausforderungen der nuklearen Entsorgung**

Radioaktive Abfälle stammen im Wesentlichen aus der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung, können aber auch aus anderen Anwendungen insbesondere Forschung, Industrie und Medizin herrühren. Sie enthalten u.a. langlebige Radionuklide und müssen zum Schutz von Bevölkerung und Umwelt über sehr lange Zeiträume sicher von der Biosphäre getrennt verwahrt werden. Im Rahmen der nuklearen Entsorgung sind für solche Abfälle folglich Maßnahmen zur Behandlung, Lagerung und Endlagerung zu ergreifen, welche die Gewähr für eine sichere Isolation der radioaktiven Abfälle bieten. Dabei sollte zukünftigen Generationen keine Verpflichtung zur Nachsorge auferlegt werden.

Es besteht weltweit in der wissenschaftlich-technischen Gemeinschaft der Entsorgungsforschung Konsens darüber, hoch radioaktive, Wärme entwickelnde Abfälle (abgebrannte Brennelemente und verglaste Abfälle) in tiefen geologischen Formationen endzulagern. Die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ist, unabhängig davon, ob andere Maßnahmen (Partitionierung, Konditionierung, Transmutation, Langzeitzwischenlagerung, etc.) realisiert werden, die aus heutiger Sicht unverzichtbare finale Maßnahme. Sie wird als die einzige Möglichkeit angesehen, die Abfälle sicher und langfristig sowie umweltverträglich zu entsorgen. Die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen verfolgt das weltweit akzeptierte Prinzip "containment and isolation" und ist bei allen Entsorgungskonzepten der Endpunkt der nuklearen Entsorgung.

Die Isolierung der radioaktiven Abfälle wird durch geeignete Barrieren (geologische, geotechnische, technische) erreicht, wobei deren jeweilige Bedeutung durch den nationalen Ansatz für das Endlagerkonzept im gewählten Wirtsgestein bestimmt wird. Die Grundsätze und Sicherheitsprinzipien dieser Vorgehensweise sind in Dokumenten der IAEA und der OECD/NEA beschrieben (z.B. /IAEA 2011/).

Bei der Realisierung eines Endlagerprojektes ist eine strukturierte, stufenweise und mehrphasige Vorgehensweise, die den Realisierungszeitraum eines Endlagers widerspiegelt, gebräuchlich und allgemein anerkannt. Dies wird auch im Förderkonzept berücksichtigt, sodass die wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse, die durch FuE-Maßnahmen erreicht werden, im Verlauf des schrittweisen Vorgehens bei der Endlagerentwicklung angemessen eingebunden werden können /ZUI 2013/. Als Rahmen kann das Konzept des „Safety Case“ /OEC 2013a/ zugrunde gelegt werden.

Unabhängig davon, in welcher Phase sich ein Endlagerprogramm oder -projekt befindet, bestehen auf den folgenden Gebieten Herausforderungen für die nukleare Entsorgung:

- a) auf wissenschaftlichem Gebiet (z.B. Standortfindung, grundlegendes Prozessverständnis, Systemanalysen),
- b) auf technischem Gebiet (z.B. Technologie für Bau, Betrieb und Verschluss) und
- c) auf der politischen sowie sozio-technischen Ebene (z.B. Governance / Verfahren, Einbindung der Öffentlichkeit).

Die Aufgabe ein Endlager zu implementieren ist auch deshalb anspruchsvoll, weil jedes Endlager abhängig von den Standortgegebenheiten individuelle Lösungen verlangt und die damit zusammenhängenden Fragen und Problemstellungen erstmalig zu lösen sein werden. Die Aufgabe von Forschung und Entwicklung ist die Schaffung von Lösungsansätzen und die wissenschaftlich fundierte Unterstützung bei der Bewältigung dieser Herausforderungen.

Die Herausforderungen an die Forschung ändern sich mit den Phasen eines Endlagerprogramms. Relevant – und damit Einfluss nehmend auf die FuE – sind sie in den wichtigen drei Phasen *Grundlagenschaffung*, *Standortauswahl* und *Umsetzung eines Endlagerprojektes*. Hinsichtlich dieser Phasen stellt sich die nationale Situation wie folgt dar.

#### *1. Bereitstellung der wirtsgesteins- und endlagerkonzeptbezogenen wissenschaftlichen und technischen Grundlagen*

Mit Blick auf die verfügbaren wissenschaftlichen und technischen Grundlagen zur Endlagerung ist festzustellen, dass deutlich unterschiedliche Kenntnisstände zu den für Deutschland in Betracht gezogenen Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und kristallines Gestein (Granit) bestehen. Dies hat Konsequenzen für die FuE.

**Steinsalz (steile Lagerung, Salzstock):** Der Kenntnisstand für die Errichtung eines Endlagers im Steinsalz eines Salzstockes wurde durch die in mehr als 40 Jahren in Deutschland geleistete Forschungstätigkeit sehr weitgehend erarbeitet /PT 2008a/. Die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen und Fertigkeiten sowie Instrumente für die Erkundung, Errichtung, den Einlagerungsbetrieb und den Verschluss eines solchen Endlagers sind grundsätzlich so weit entwickelt, dass sie an die an einem geeigneten Standort vorgefundenen Bedingungen angepasst werden können.

Hinzuweisen ist auch auf die in Deutschland vorliegenden, jahrhundertelangen Erfahrungen und die Expertise aus dem Bergbau zur Salzgewinnung sowie auf die Erfahrungen aus bisherigen und bestehenden Endlagerprojekten auch im nicht-nuklearen Bereich.

Der vorhandene Wissensstand und die Technik würden bereits heute eine Charakterisierung eines Standortes für ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in Steinsalz ermöglichen. Dies ist u.a. dadurch begründet, dass sowohl das Instrumentarium zur Führung des Sicherheitsnachweises, als auch die technischen Verfahren zur Errichtung eines Endlagers größten Teils vorhanden sind. Gleichwohl sind Fragen offen, die u.a. in der vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) /FIS et al. 2013/ und anderen FuE-Aktivitäten identifiziert wurden. Sofern es sich dabei um Aspekte der anwendungsorientierten und standortunabhängigen FuE handelt, werden diese durch das vorliegende Förderkonzept des BMWi berücksichtigt.

**Steinsalz (flache Lagerung):** Neben Steinsalz in Salzstöcken (steile Lagerung) kommt Steinsalz auch in flacher Lagerung (stratiform) vor /BGR 2007/, /BGR 2014/. In Deutschland stand bislang bei der Untersuchung des Wirtsgesteins Steinsalz die steile Lagerung im Fokus der Forschung und Entwicklung. Bisher wurden keine vergleichbaren FuE-Aktivitäten zur Endlagerung im Steinsalz in flacher Lagerung durchgeführt. Im Rahmen der internationalen Kooperation mit den USA konnte man aufgrund des dort betriebenen Endlagers Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) auch auf Informationen zur Endlagerung in flach lagernden Salzlagerstätten zugreifen.

Es ist im Rahmen dieses Förderkonzeptes angezeigt durch FuE-Arbeiten zu prüfen, ob die entwickelten und bereitstehenden Verfahren, Instrumente, Ansätze und konzeptionellen Vorstellungen auf flach lagernde Salzformationen anwendbar sind, um eine fundierte Aussage

hinsichtlich der Vor- und Nachteile von Endlagerkonzepten in flach lagernden Salzen zu ermöglichen. Als vorteilhaft erweist sich dabei die aktuell wieder intensiviertere Kooperation mit den USA.

**Tonstein:** Der Kenntnisstand für die Errichtung eines Endlagers in Tonstein ist im Vergleich zu dem zur Endlagerung in Salzstöcken in Deutschland weniger entwickelt. Seit Beginn der 2000er Jahre wurden durch eine intensiviertere FuE auf diesem Gebiet deutliche Fortschritte durch spezifische nationale FuE-Projekte und durch den Zugriff auf die umfangreichen wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse aus Frankreich und der Schweiz sowie für plastische Tone in Belgien erzielt. Im Rahmen der Beteiligung deutscher Forschungseinrichtungen an dortigen FuE-Aktivitäten und durch die Mitarbeit in internationalen Untertagelaboren konnte ein fundierter, wissenschaftlich-technischer Kenntnisstand erarbeitet werden. Dennoch besteht zu einigen der mit den o.g. Herausforderungen zusammenhängenden Fragestellungen für diese Endlageroption weiterer FuE-Bedarf (u.a. Bergbau, notwendiger Sicherheitsausbau mit Spritzbeton und Ankern, Rückbau des Ausbaus, Einfluss von Zement, etc.).

Nationale Aktivitäten zur Entwicklung eines Endlagerkonzeptes in Tonstein werden aktuell im Kontext der internationalen Kooperationen gefördert. Ziel ist es, den Entwicklungs- bzw. Kenntnisstand möglichst bald auf einen Stand zu bringen, der mit dem zur Endlagerung im Salzstock vergleichbar ist.

**Kristallines Gestein (Granit):** Im Vergleich zu Steinsalz (Salzstock) und Tonstein ist der national verfügbare Wissensstand zur Endlagerung in kristallinen Wirtsgesteinen bisher am geringsten ausgeprägt. Die Endlagerung im Kristallingestein stellte in Deutschland bislang nicht zuletzt deswegen keine favorisierte Option dar, weil die Endlagerung in Steinsalz und Tonstein in erster Linie Kredit von der Barrierefunktion der geologischen Barriere nimmt, wogegen bei der Endlagerung in kristallinen Gesteinen hauptsächlich von den technischen bzw. geotechnischen Barrieren Kredit genommen wird /AKE 2002/. Obwohl mit beiden konzeptionellen Ansätzen ein ausreichendes Sicherheitsniveau erreicht werden kann, wurde in Deutschland dem Ansatz, welcher der Geologie und den geologischen Barrieren die maßgebliche Sicherheitsfunktion zuschreibt, der Vorzug gegeben. Bis auf eine Studie /PAP 1999/ wurden in Deutschland bislang keine konzeptionellen Überlegungen zur Endlagerung in Kristallin durchgeführt.

Bisher wurde aus geowissenschaftlicher Sicht Kristallingestein als nachrangige Endlageroption betrachtet /BGR 2007/. Gleichwohl und auch aufgrund der politischen Vorgabe, andere Wirtsgesteine als Steinsalz zu untersuchen, wurden seit langem FuE-Aktivitäten zu spezifischen Fragestellungen der Endlagerung in kristallinen Gesteinen betrieben (grundlegende Kenntnisse zum Wirtsgestein, zu mikrobiellen Prozessen, zur Hydrologie, etc.), die in den ausländischen Untertagelaboratorien in Schweden (Hard Rock Laboratory Äspö) und in der Schweiz (Felslabor Grimsel) durchgeführt wurden. In den letzten Jahren wurde die FuE vor allem auf Arbeiten zu technischen und geotechnischen Barrieren fokussiert, d.h. auf Themenfelder, deren Ergebnisse potenziell auch auf Endlagerkonzepte in anderen Wirtsgesteinen übertragbar sind.

Für alle beschriebenen Wirtsgesteine gilt: Aufgrund der zu beachtenden Randbedingungen (z.B. Rückholbarkeit und verlängerte Zwischenlagerung mit Folgen für die thermische Belastung des Endlagerwirtsgesteins) ist damit zu rechnen, dass Änderungen von Endlagerkonzepten zu berücksichtigen sein werden.

## *II. Durchführung der Standortsuche und -auswahl*

Bei der Standortsuche und -auswahl sind neben den geologischen Gegebenheiten als wichtige, sicherheitsrelevante Randbedingungen, auch die technischen, sozio-technischen und so-

zio-ökonomischen Rahmenbedingungen bezüglich der Realisierbarkeit eines Endlagerprojekts zu berücksichtigen /DAE 2014/.

Anforderungen an das Wirtsgestein für ein Endlager wurden durch den Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) formuliert /AKE 2002/ und sind auch in den Sicherheitsanforderungen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU, jetzt BMUB) an die Endlagerung Wärme entwickelnder Abfälle enthalten /BMU 2010/. Zum Beispiel sind die für das Endlager benötigten Mächtigkeiten des Wirtsgesteins, seine Dichtheit und sein Vorkommen in geeigneten Tiefen wichtig. Ferner sollte es mit vertretbarem Erkundungsaufwand auffindbar und charakterisierbar sein. Informationen aus Untersuchungen, die in anderem Zusammenhang realisiert wurden (Suche nach Bodenschätzen, allgemeine geologische Erkundung des Untergrunds, untertägige Bauten, etc.), können hierbei von Nutzen sein. Wesentlich ist auch die bergbauliche und bauliche Realisierbarkeit eines Endlagers in den in Erwägung gezogenen Wirtsgesteinstypen.

Über die in Deutschland vorkommenden Gesteine sind aktuelle Informationen durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zur Verfügung gestellt worden (siehe Abbildung 1). Informationen dazu finden sich in /BRÄ et al. 1994/, /KOC et al. 95/, /HOT et al. 07/, /BGR 2007/ und /BGR 2014/.

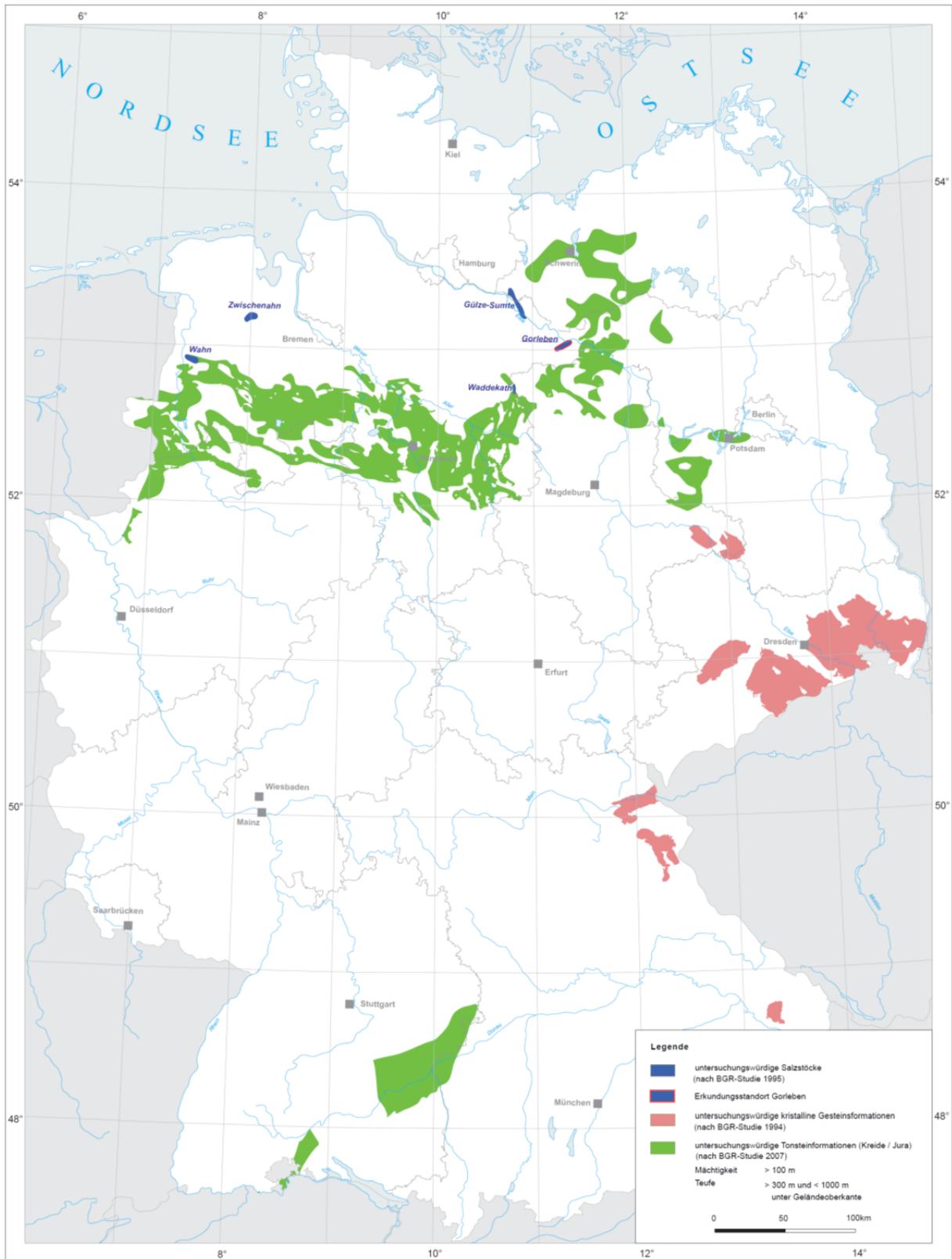
Auf Grundlage der deutschlandweit vorhandenen geowissenschaftlichen Daten und Informationen können Gesteinsformationen unter Berücksichtigung vorgegebener Kriterien ausgewiesen werden. Die Karte der BGR zeigt untersuchungswürdige Salzstöcke und kristalline Gesteinsformationen (ausgewiesen 1995, vor der Festlegung von Mindestanforderungen und Ausschlusskriterien durch den AkEnd) sowie untersuchungswürdige Tonsteinformationen (nach Mindestanforderungen und Ausschlusskriterien des AkEnd).

Die BGR kommt zuletzt im Jahr 2007 zum Schluss, dass aus den bisherigen Bergbauerfahrungen und geologischen Befunden und Bewertungen hervorgeht, dass in Deutschland homogene und ungeklüftete Bereiche im kristallinen Gestein in einer für die Errichtung eines Endlagerbergwerkes notwendigen räumlichen Ausdehnung nicht zu erwarten sind. Gleichwohl müssen kristalline Gesteine nicht grundsätzlich als Wirtsgestein für die Endlagerung in Deutschland ausgeschlossen werden, sofern den vorliegenden geologischen Randbedingungen durch geeignete Endlagerkonzepte Rechnung getragen wird.

Für die Entscheidung, welche Gesteine als potenzielle Wirtsgesteine für die Endlagerung Berücksichtigung finden sollten und ob der geologischen oder den technischen Barrieren die Hauptsicherheitsfunktion zugewiesen wird, ist somit die Festlegung des Stellenwertes einerseits der geologischen und andererseits der technischen Barrieren Voraussetzung.

Zukünftige FuE-Aktivitäten in diesem Förderkonzept sollen den skizzierten Rahmenbedingungen Rechnung tragen, indem sie das erforderliche Instrumentarium für die Standortsuche und -auswahl und die konzeptionelle Vorgehensweise verbessern und erweitern helfen.

Weitere Herausforderungen, mit denen in Endlagerprogrammen umzugehen ist, liegen auf der politischen und sozio-technischen Ebene und betreffen z. B. Fragestellungen mit Bezug zu den Themen Governance / Entscheidungsfindung, Einbindung / Mitwirken von „stakeholdern“ bei der Endlagerentwicklung oder das Endlagermonitoring. Ihre Behandlung wird in Zukunft ein wichtiger Bestandteil der Entsorgungsforschung sein. Es ist daher vorgesehen, erfolgversprechende sozio-technische, auf spezifische technische Problemstellungen ausgerichtete FuE-Aktivitäten zu initiieren.



**Abb. 1** Untersuchungswürdige Wirtsgesteinsformationen nach BGR, entsprechend derzeitigem Kenntnisstand (aus /BGR 2014/, dort Anhang A5; ohne flach lagernde Salzformationen)

### *III. Realisierung eines Endlagerprojekts*

Mit dem in Kraft treten des Standortauswahlgesetzes, in dem das Verfahren der Standortauswahl beschrieben ist, und der Initiierung der dem Standortauswahlverfahren vorgelagerten "Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe" wurde der Prozess der Realisierung eines Endlagers für insbesondere Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle in Deutschland neu begonnen. Nach den Vorgaben des Standortauswahlgesetzes (StandAG) soll das Auswahlverfahren bis zum Jahr 2031 mit der Standortentscheidung abgeschlossen werden. Zur Vorbereitung dieses Verfahrens wurde im April 2014 die „Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“, bestehend aus jeweils acht Vertretern der Wissenschaft, des Deutschen Bundestages und von Landesregierungen, sowie je zwei Vertretern von Umweltverbänden, Religionsgemeinschaften, Wirtschaft und Gewerkschaften und zwei sich jeweils abwechselnden Vorsitzenden, gebildet. Diese Kommission soll bis zum 31. Dezember 2015 die für das Auswahlverfahren relevanten Grundsatzfragen untersuchen und bewerten, im Rahmen von zu erarbeitenden Handlungsempfehlungen auch Stellung zu bisher getroffenen Entscheidungen und Festlegungen in der Endlagerfrage nehmen und diese Empfehlungen dann dem Deutschen Bundestag und dem Bundesrat übermitteln. Diese Entwicklungen sollen in Form einer Anpassung oder Präzisierung des Förderkonzeptes und / oder bei der konkreten Vergabe von Projekten berücksichtigt werden.

Bei der Arbeit der Kommission erfolgt neben der Analyse von Erfahrungen und Vorgehensweisen anderer Staaten bei der Standortauswahl auch eine Beurteilung, ob andere Möglichkeiten für eine geordnete Entsorgung alternativ zum bisherigen Ansatz einer unverzüglichen Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen bestehen. Der im Rahmen der Planungsschritte für ein Endlager in einer demokratischen Gesellschaft stattfindende Diskussionsprozess wird derzeit in verschiedenen Ländern geführt. Vor dem Hintergrund der anstehenden gesellschaftlichen Diskussionen im Rahmen der Planungsschritte für ein Endlager in Deutschland sind die bereits bestehenden Erkenntnisse zu den sozialen, wirtschaftlichen und ethischen Aspekten der Endlagerung ebenfalls fortzuschreiben und weiterzuentwickeln.

Um ein zukünftiges Endlagerprojekt transparent in der gesellschaftlichen Gesamtverantwortung zu implementieren, wird die Kommissionsarbeit öffentlich durchgeführt.

Für den gesellschaftlichen Diskurs zur Endlagerung und für die Festlegung eines Endlagerstandortes, sofern nicht alternative Lösungsmöglichkeiten zukünftig präferiert werden sollten, wird ein breiter gesellschaftlicher Konsens in Deutschland angestrebt.

Grundsätzlich muss in der Phase der Realisierung eines Endlagers für Wärme entwickelnde Abfälle, unabhängig vom zukünftig ausgewählten Wirtsgestein, die entsprechende Fachkompetenz bei den relevanten Akteuren vorliegen. Die Förderung der FuE durch das BMWi leistet zum Kompetenzerhalt und zur Förderung wissenschaftlichen Nachwuchses entscheidende Beiträge.

## **2. Rahmen und Struktur der nuklearen Entsorgungsforschung**

### **2.1 Umfeld und Randbedingungen**

In Deutschland wurden in der Vergangenheit die Endlagerung im Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung (Salzstöcke) bevorzugt betrachtet, die Forschungs- und Entwicklungsaufgaben dahingehend ausgelegt und Konzepte dafür entwickelt (vgl. z. B. zur Direkten Endlagerung /Kess 1998/). In der frühen Phase der projektgeförderten *FuE zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen* wurden daher Forschungsvorhaben mit Bezug zum Wirtsgestein Steinsalz prioritär bearbeitet.

Untersuchungen zur Endlagerung in den Wirtsgesteinen Tonstein und in kristallinen Gesteinen wurden mit geringerer Priorität und Intensität durchgeführt. Hierbei ging es im Wesentlichen um eine Erweiterung des nationalen Kenntnisstandes durch Mitwirkung in internationalen Projekten, um auch diese Wirtsgesteinsoptionen fachlich beurteilen zu können.

Die im Jahr 2000 getroffene Vereinbarung zwischen der damaligen Bundesregierung und den Kernkraftwerksbetreibern zum geordneten Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung (sogenannter „Atomkonsenz“) hatte auch für die Priorisierung der FuE-Aktivitäten Konsequenzen /BUN 2000/. Eine verstärkte Untersuchung anderer Wirtsgesteine wurde gewünscht und die FuE-Maßnahmen zur Endlagerung in alternativen, nichtsalinaren Wirtsgesteinen wurden demzufolge intensiviert. In diesem Zeitraum, in den auch das Moratorium für das Erkundungsbergwerk Gorleben fiel, wurden einige für die Endlagerung in den Wirtsgesteinen Steinsalz und Tonstein wegweisende FuE-Projekte initiiert (GEIST (2001), DENKMAL (2004), ISIBEL (2005)).

In der Förderkonzeptphase von 2011 bis 2014, vor der die Entscheidung zur Laufzeitverlängerung am Ende des Jahres 2010 fiel und während derer es zu den durch das Tōhoku-Erdbeben und den resultierenden Tsunami ausgelösten Unfällen im Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi kam, wurden zeitgleich zu den Arbeiten an der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) prioritär FuE-Arbeiten zu noch nicht abgeschlossenen Fragestellungen der Endlagerung im Steinsalz durchgeführt.

Parallel zu diesen Arbeiten wurde der wissenschaftlich-technische Kenntnisstand zur Endlagerung in Tonstein weiterentwickelt und auf einen möglichst hohen Stand gebracht. Fragestellungen zur Endlagerung in kristallinen Gesteinen hatten in diesem Förderzeitraum eine relativ geringe Priorität.

Für die mit dem Jahr 2015 beginnende Phase des neuen Förderkonzeptes stellen das Atomgesetz und das Standortauswahlgesetz aus dem Jahr 2013 den aktuellen gesetzlichen Rahmen dar. Eine weitere wichtige Rahmenbedingung ist die EU-Richtlinie zur Entsorgung radioaktiver Abfälle 2011/70/Euratom, die für die aktuell erfolgende Erarbeitung des Nationalen Entsorgungsprogrammes maßgebend ist.

Das Standortauswahlgesetz hebt bisherige Priorisierungen der FuE-Maßnahmen zu einzelnen Wirtsgesteine zugunsten einer ergebnisoffenen Neubetrachtung von Endlager- bzw. Entsorgungsoptionen auf und fordert die Bereitstellung der dazu erforderlichen wissenschaftlich-technischen Grundlagen und der personellen Ressourcen.

Für die Ausrichtung und Zielsetzung des Förderkonzeptes bedeutet dies ein verstärktes Engagement zur Abrundung und zum Erhalt der bereits vorliegenden wissenschaftlichen Expertise in den wesentlichen deutschen Forschungsinstitutionen und damit verbunden eine adäquate Ausstattung mit personellen und technischen Ressourcen.

## **2.2 Zuständigkeiten und Aufgabenverteilung**

Der Bund ist gemäß Atomgesetz (§ 9a Abs. 3) zuständig für die Bereitstellung von Endlagern für radioaktive Abfälle. Er hat somit auch die Vorsorge dafür zu tragen, dass die dazu erforderlichen wissenschaftlich-technischen Grundlagen, das benötigte Know-How und die finanziellen, personellen und institutionellen Ressourcen verfügbar sind.

Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, federführend vom BMWi erstellt, bildet hinsichtlich der forschungspolitischen Ausrichtung die programmatische Grundlage auch für den Themenbereich der Nuklearen Entsorgungsforschung der Bundesregierung.

Auf vier Feldern setzt das 6. Energieforschungsprogramm neue Akzente: Strategische Fokussierung in Bezug auf den Einsatz der Fördermittel, Ressortübergreifende Zusammenarbeit,

Internationale Kooperation (u.a. Vernetzung in Europa, globale Herausforderungen) sowie Abstimmung und Koordination. Auf die Wichtigkeit internationaler Kooperation wird explizit hingewiesen (Erhöhung der Effektivität der Forschung, Mitwirkung in EU-Programmen, Mitwirkung in internationalen Gremien der IAEA, OECD/NEA (u.a. RWMC, IGSC, Salt Club, Clay Club), EU (z. B. Technologieplattformen, Beratungsgremien) und die Notwendigkeit, durch Aus- und Weiterbildung sowie Förderung des Nachwuchses dem Kompetenzverlust entgegenzuwirken, wird betont.

Die Federführung bei der Projektförderung der anwendungsorientierten, standortunabhängigen Grundlagenforschung zur nuklearen Entsorgung liegt beim BMWi; die Förderinhalte sind in diesem Förderkonzept zusammengefasst und enthalten auch Maßnahmen der Nachwuchsförderung und des Kompetenzerhalts. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) unterstützt und berät das BMWi und führt Forschung in der Regel mit eigenen Haushaltsmitteln durch. Diese Arbeiten der BGR auf dem Gebiet der Endlagerung sind unter /www.bgr.de/ beschrieben. Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) arbeitet auf dem Gebiet der nuklearen Entsorgung derzeit in zwei Fachbereichen zur Sicherheit von Transportbehältern und zur Sicherheit von Lagerbehältern. Ihre Arbeiten sind unter /www.bam.de/ beschrieben.

Die Projektförderung des BMWi wird durch eine Projektförderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in den Bereichen nukleare Sicherheits-, Entsorgungs- und Strahlenforschung flankiert. Daneben fördert das BMBF Forschungsmaßnahmen zu „Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Versuchs- und Demonstrationsanlagen“ (Forschungsreaktoren).



**Abb. 2** Bundesressorts mit nachgeordneten Bundesbehörden und ihnen zugeordnete Zuständigkeiten im Bereich der Entsorgungsforschung in Deutschland (Erläuterungen der Abkürzungen im Anhang A1 Verzeichnis verwendeter Abkürzungen)

Der Projektträger Karlsruhe (PTKA-WTE) betreut und koordiniert im Auftrag von BMWi und BMBF die jeweiligen projektgeförderten FuE-Arbeiten in Abstimmung mit den jeweiligen Ressorts. Die FuE-Aktivitäten des BMWi zum FuE-Bereich 1 „Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter“ werden vom Projektträger der Gesellschaft für An-

lagen- und Reaktorsicherheit (PT-GRS) betreut (s. Kap. 5 und Anhang Fördermittel und –modalitäten).

Im Rahmen der Programmorientierten Förderung (POF III) der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) werden im Forschungsbereich Energie im Programm „Nukleare Entsorgung und Sicherheit sowie Strahlenforschung – unter der Vorgabe eines Verzichts Deutschlands auf die Stromerzeugung aus Kernenergie“ die Themen nukleare Entsorgung und Reaktorsicherheit bearbeitet. In einem forschungsbereichsübergreifenden Querschnittsthema wird zusammen mit dem Forschungsbereich Gesundheit die Strahlenforschung vorangetrieben. Die Programmorientierte Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft wird vom BMBF zusammen mit den Ländern finanziert.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) finanziert im Rahmen seiner Ressortforschung Untersuchungen, mit denen wissenschaftliche Erkenntnisse für die Ressortaufgaben des BMUB, u.a. für die Einrichtung von Endlagern und als Bundesaufsichtsbehörde im Bereich der nuklearen Entsorgung, nutzbar gemacht werden.

Das dem BMUB nachgeordnete Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ist als Vorhabenträger verantwortlich für die Umsetzung des Standortauswahlverfahrens, die Einrichtung von Endlagern sowie der Genehmigung von Transporten und Zwischenlagern von Kernbrennstoffen.

Als weitere dem BMUB nachgeordnete Bundesbehörde ist das Bundesamt für kerntechnische Entsorgung (BfE) zuständig für die Regulierung des Standortauswahlverfahrens. Zukünftig übernimmt das BfE nach § 23d AtG auch die Planfeststellung und Genehmigung von Endlagern.

Die für die Regulierung und Umsetzung des Standortauswahlverfahrens und für die anschließende Einrichtung eines Endlagers für insbesondere Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden mit einem Umlageverfahren nach dem Standortauswahlgesetz (StandAG) refinanziert.

### **2.3 Internationale Kooperation**

Internationale Kooperation ist eine wichtige Komponente im Rahmen der FuE-Aktivitäten. Dies ist weltweit Konsens bei Endlagerorganisationen, FuE-Einrichtungen oder in der Endlagerung tätigen Institutionen und daher zentraler Bestandteil der Programme und Forschungsaktivitäten.

Auch die Bundesregierung erkennt das an und nimmt im 6. Energieforschungsprogramm explizit darauf Bezug: *„Technologieentwicklungen müssen heute immer stärker aus einer globalen Perspektive bewertet werden. Die Bundesregierung trägt diesem Gedanken durch eine Verbesserung der internationalen Kooperation auf dem Gebiet der Energieforschung Rechnung. Von besonderer Bedeutung sind dabei eine stärkere Vernetzung der Forschungsarbeiten innerhalb der Europäischen Union sowie die gezielte Beteiligung an internationalen Arbeiten in Untertagelaboratorien anderer mit Entsorgungsfragen befasster Länder.“*

Internationale Kooperation hat vielfältige Vorteile:

- Informations- und Erfahrungsaustausch über Forschungsfragen, Forschungs- und Endlagerprogramme,
- Verbreiterung der nationalen Wissensbasis,
- Möglichkeit zur Evaluierung des Wissensfortschritts,
- Vergleich und Bewertung unterschiedlicher wissenschaftlich-technischer Methoden, Ansätze und Konzepte,

- wissenschaftlich-technische, sicherheitsbezogene, sowie rechtliche und finanzielle Synergien,
- Austausch zu Ansätzen der nationalen Sicherheitskulturen (z. B. Harmonisierung von Sicherheitsanforderungen).

Im Rahmen internationaler Kooperation werden folgende wissenschaftliche Ziele der FuE-Aktivitäten im Bereich der nuklearen Entsorgung als zentral angesehen:

- die Verbesserung des für die Sicherheitsbewertung von Endlagerkonzepten notwendigen Systemverständnisses (zum Wirtsgestein und zu den im Endlagersystem ablaufenden Prozessen),
- die Verbesserung und Fortentwicklung methodischer Ansätze (Features, Events, Processes (FEP)-Katalog, Analoga, etc.) u.a. im Hinblick auf die Erstellung eines Sicherheitsnachweises (Safety Case),
- die Anwendung und den Vergleich (benchmark) von Rechenmodellen und
- die Entwicklung sowie den Test von technischem Equipment und von Verfahren.

In der wissenschaftlichen Kooperation spielt vor allem die Mitarbeit in europäischen Untertage-laboren (im Kristallin- und Tongestein) eine zentrale Rolle. Da in Deutschland kein Untertage-labor zur Verfügung steht, ist durch die Mitarbeit in ausländischen Untertage-laboren die Möglichkeit gegeben an In-situ-Versuchen bzw. Demonstrationsversuchen teilzunehmen oder diese zu realisieren.

Die Kooperation zwischen deutschen Forschungsstellen und internationalen Partnern auf dem Gebiet der Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle hat eine lange Tradition, die, im Fall der Kooperation mit den USA und der Schweiz, bis in die 1970er und 1980er Jahre zurückgeht.

Kooperationen basieren auf unterschiedlichen Vorgehensweisen: Zum einen erfolgen sie auf der Basis von bilateralen Abkommen zwischen dem BMWi und Endlagerorganisationen wie zum Beispiel die Kooperationen mit Schweden, Frankreich und der Schweiz. Zum anderen beruhen sie auf Abkommen mit staatlichen Institutionen (USA (USDOE) und Russland (Rosatom)) auf der Basis von Abkommen zur wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit (WTZ). Beiträge werden im Rahmen der Projektfinanzierung deutscher Forschungseinrichtungen geleistet, wie dies im Falle der Arbeiten im Untertage-labor in Mont Terri (Schweiz) der Fall ist. Die Aktivitäten der BGR im Rahmen der Endlagerforschung werden mit deren Haushaltsmitteln finanziert.

Darüber hinaus werden Beiträge für die Mitwirkung deutscher Forschungseinrichtungen an OECD/NEA-Aktivitäten geleistet, z.B. in der IGSC, im „Clay Club“, im „Salt Club“, und bei der Weiterentwicklung der Thermodynamischen Datenbank. Ferner erfolgt eine Ko-Finanzierung von EU-Forschungsprojekten.

Die durch langjährige erfolgreiche Mitarbeit in internationalen Projekten (EU, bilateral) erreichte deutsche Expertise ist international angesehen und wird nachgefragt. Deutsche Institutionen erhalten Aufträge der einschlägigen ausländischen Institutionen für die Bearbeitung spezieller Themen, zu denen spezifische Erfahrungen in Deutschland vorhanden sind. Deutsche Institutionen sind nach wie vor begehrte Partner in Verbundprojekten, die in den EU-Rahmenprogrammen durchgeführt wurden und werden. Deutsche Experten sind in den Gremien der IAEA, der OECD/NEA und der Europäischen Kommission vertreten und führen zum Teil den Vorsitz.

Im Einzelnen bestehen Kooperationen mit folgenden Ländern:

## **USA**

Seit den 1970er Jahren kooperierten deutsche und amerikanische Institutionen mehr oder weniger intensiv auf dem Gebiet der FuE zur Endlagerung im Steinsalz. Diese Kooperation trug entscheidend dazu bei, das Wissen zu diesem Wirtsgestein voranzubringen. Wesentlich waren im Rahmen der Arbeiten auch die Ergebnisse aus Versuchen, die im damaligen Forschungsbergwerk Asse, das erste Untertagelabor weltweit, durchgeführt wurden. Aufgrund länderspezifischer Randbedingungen musste die Intensität der Kooperation ab dem Jahr 2001 reduziert werden. Im Jahr 2010 ergab sich aufgrund der Änderung der politischen Randbedingungen in beiden Ländern die Möglichkeit, die Kooperation zu reaktivieren. Begonnen wurde mit einem gemeinsamen deutsch-amerikanischen Workshop, auf dem gegenseitig der damals aktuelle Kenntnisstand vorgestellt wurde. Die Workshops werden nun jährlich durchgeführt und behandeln u.a. die Themenbereiche Geomechanik/Salzmechanik Betriebssicherheit, Sicherheitsnachweis. Im Jahr 2011 wurde ein Agreement zwischen dem BMWi und den DOE-Offices Environmental Management und Nuclear Energy geschlossen. Dieses Agreement bildet die Basis für die Kooperation deutscher Forschungsinstitutionen und amerikanischer nationaler Forschungslabors, die dem DOE zugeordnet sind.

Im Rahmen dieser Kooperation wurde eine Reihe wichtiger Ergebnisse erzielt:

- Definition und Realisierung gemeinsamer FuE-Projekte,
- gemeinsame Publikationen (Berichte, Veröffentlichungen und Tagungsbeiträge),
- gemeinsame Workshops zu detaillierteren Themen (Radiochemie, Natürliche Analoga, Salzgrus),
- Initiierung des OECD/NEA „Salt Clubs“, gemeinsam mit den Niederlanden und Polen.

## **Schweiz**

Gegenstand der Kooperation ist die Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Granit im Felslabor (FL) Grimsel. Im Jahr 1982 wurde zwischen dem damaligen Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT, jetzt BMBF) und dem Schweizer Bundesamt für Bildung und Wissenschaft ein Vertrag über die Arbeiten im Felslabor Grimsel geschlossen. Im Jahr 1983 wurde zwischen der NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) auf schweizerischer Seite sowie der BGR und der GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit auf deutscher Seite, die „Vereinbarung über die deutsch-schweizerische Zusammenarbeit im Felslabor Grimsel“ geschlossen. Die Arbeiten, die in den verschiedenen Phasen I – IV durchgeführt wurden, wurden durch einen gemeinsamen FuE-Lenkungsausschuss diskutiert, priorisiert und begleitet. Im Jahr 1998 wurde das bis heute bestehende Umbrella-Agreement zwischen der NAGRA und dem BMBF unterzeichnet, das ab dann die Basis für die Arbeiten der Phase V im FL Grimsel darstellte. In diesen Phasen wurden eine Reihe wichtiger Ergebnisse erzielt und publiziert. Ein wesentlicher und einzigartiger Vorteil des FL Grimsel ist die Möglichkeit, In-situ-Versuche mit Radionukliden durchführen zu können. Dieser Vorteil wurde und wird von deutschen Wissenschaftlern wahrgenommen. So erfolgt weiterhin die Mitarbeit (GRS, KIT/INE) in der Phase VI in dem internationalen Forschungsprojekt CFM (Colloid Formation and Migration; siehe dazu auch [www.grimsel.com](http://www.grimsel.com)), gemeinsam mit zwölf Partnern.

Im Rahmen des Mont Terri Projekts wurde Mitte der 1990er Jahre das Felslabor Mont Terri (Opalinuston) als internationales Untertageforschungslabor errichtet. Seit Ende der 1990er Jahre sind mit BGR und GRS deutsche Forschungseinrichtungen im Projektkonsortium vertreten. Beide Organisationen nehmen nicht nur an unterschiedlichen Experimenten teil, sondern wirken auch bei der Definition von FuE-Maßnahmen im Rahmen des FuE-Programms mit.

## **Frankreich**

Die Kooperation deutscher Einrichtungen mit Frankreich begann im Jahr 1991. Sie basierte auf einem Abkommen zwischen dem damaligen Forschungszentrum Karlsruhe (FZK, heute: Karlsruher Institut für Technologie (KIT)), dem Forschungszentrum Jülich (FZJ), dem Commissariat à l'énergie atomique (seit dem Jahr 2010: Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, CEA), der Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA) als der in Frankreich zuständigen Organisation für die Entsorgung und Endlagerung der dort anfallenden radioaktiven Abfälle und deutscher sowie französischer Industrieunternehmen. Nachdem die ANDRA zum Jahresende 1991 als allein für das französische Entsorgungs- und Endlagerprogramm zuständige Organisation benannt wurde, erfolgte eine Modifizierung der Vereinbarung und die ANDRA fungierte als Kooperationspartner. Als deutscher Partner für diese Kooperationsvereinbarung war ausschließlich das BMWi benannt. Das BMWi vereinbarte im Jahr 2006 eine Kooperation, die durch das gemeinsame Papier „Cooperation Agreement in the field of radioactive waste“, gefestigt wurde. Die Themen beziehen sich ausschließlich auf die Endlagerung von hoch radioaktiven Abfällen und betreffen u.a. Sicherheitsanalyse, Abfallverhalten, Teilnahme an Demonstrationsprogrammen und Arbeiten in Untertage-labors.

## **Schweden**

Im Jahr 1995 wurde das Hard Rock Laboratory Äspö (HRL Äspö) in Betrieb genommen. Aufgrund der Unterschiede im Vergleich zum Felslabor Grimsel (z.B. Geologie, Grundwasser-salinität, Gesteinstyp, Klüftigkeit, etc.) erschien aus wissenschaftlicher Sicht wichtig, dass deutsche Forschungseinrichtungen auch in dieser geologischen Umgebung Versuche durchführen sollten. Im Jahr 1995 wurde mit der Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), der schwedischen Gesellschaft für Atomenergie- und Abfallverwaltung, eine Vereinbarung getroffen, die sicherstellte, dass deutsche Wissenschaftler zum einen grundsätzlich an den internationalen Programmen und Experimenten im HRL Äspö mitarbeiten können und zum anderen Zugang zu Informationen erhalten.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Kooperation ist dabei der internationale Erfahrungsaustausch zur Endlagerung in Kristallingestein. An den Arbeiten sind zurzeit die BGR und die GRS beteiligt. Die Arbeiten sind konzentriert auf Untersuchungen zu hydrogeologischen und thermomechanischen sowie das Verfüllmaterial Bentonit betreffende Fragestellungen. Ferner besteht ein Teil der Arbeiten in Modellierungsaktivitäten in sogenannten Task Forces zu Grundwasser und technischen Barrieren.

## **Russland**

Zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der damaligen UdSSR bestand seit dem Jahr 1987 ein Abkommen über die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit (WTZ) auf dem Gebiet der Reaktorsicherheit. Im Jahr 2001 wurde zwischen den Partnern beschlossen den Umfang des Abkommens auf das Gebiet Entsorgung/Endlagerung zu erweitern. Die Arbeiten zwischen deutschen (BGR, GRS, DBE Technology) und russischen Forschungseinrichtungen (Federführung VNIP PT) wurden ebenfalls im Jahr 2001 definiert und begonnen. Die Ergebnisse werden gemeinsam publiziert, die generelle Berichterstattung und Entscheidung über das weitere Vorgehen erfolgt auf den zweijährig stattfindenden WTZ-Treffen.

Eines der erfolgreichen Projekte, das in Russland als hoch prioritär angesehen (eines der 15 hoch prioritären russischen Nuklearprojekte) und intensiv bearbeitet wird (BGR, GRS, DBE Technology, russische Partner u.a. VNIP PT und die russische Endlagerorganisation NO.RAO), betrifft das Projekt zur Endlagerung von hoch radioaktivem Abfall in Bohrlöchern in Kristallingestein im Gebiet von Krasnojarsk. Ein großer Vorteil der Kooperation ist, dass für die deutschen Partner die einzigartige Möglichkeit besteht, ihre Methoden und Ansätze real zu testen und damit die Wissensbasis insbesondere zu diesem Wirtsgestein zu erweitern. Den russischen Partnern kommt die deutsche wissenschaftlich-technische und sicherheitliche Expertise zugute.

## **China**

Mit Institutionen der Volksrepublik China besteht keine auf einer Rahmenvereinbarung basierende oder über Projekte finanzierte Kooperation im Bereich der nuklearen Entsorgung. Allerdings wurden gemeinsame Workshops, zuletzt im Jahr 2012, durchgeführt (organisiert durch PTKA, Beijing Research Institute of Uranium Geology und BGR) auf denen der gegenseitige Austausch von Informationen und wissenschaftlichen Resultaten insbesondere über die Endlagerung in kristallinen Gesteinen erfolgte.

## **OECD/NEA**

Die OECD/NEA widmet sich im Bereich der Entsorgung insbesondere der weiteren Entwicklung von Methoden zum Langzeitsicherheitsnachweis für Endlager sowie der Bewertung von Endlagerkonzepten und Forschungsprogrammen der Mitgliedsländer. Dazu bietet sie den 23 Mitgliedstaaten ein Forum zum Austausch von Meinungen und Informationen und führt gemeinsam mit ihnen Studien zu wichtigen Fragen dieser Sicherheitsbewertungen durch. Sie regt darüber hinaus internationale FuE-Arbeiten auf diesem Gebiet an und koordiniert entsprechende Aktivitäten der Mitgliedsländer.

Im Bereich der radioaktiven Abfälle ist das RWMC (**R**adioactive **W**aste **M**anagement **C**ommittee), ein hochrangiges Gremium aus Vertretern der Mitgliedstaaten, federführend. Mitarbeiter deutscher Forschungseinrichtungen (u.a. im Auftrag des BMWi) und Behörden sind Mitglieder. Auch in der sog. Integration Group for the Safety Case (IGSC) sowie den Arbeitsgruppen „Clay Club“ und „Salt Club“ sind Mitarbeiter deutscher Forschungseinrichtungen als hochrangige Experten vertreten und haben auch Leitungsfunktion inne (IGSC, Salt Club).

## **Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste – Technology Platform (IGD-TP)**

Im November 2009 wurde die IGD-TP von sieben europäischen Waste Management Organisationen (SKB (Schweden), Posiva (Finnland), ANDRA (Frankreich), NAGRA (Schweiz), NDA (Vereinigtes Königreich), Ondraf/Niras (Belgien), Enresa (Spanien)) und BMWi gegründet (siehe auch [www.igdtp.eu](http://www.igdtp.eu)). Auf der im Vision Paper formulierten Grundidee, dass bis zum Jahr 2025 in Europa ein Endlager für hochradioaktive, Wärme entwickelnde und langlebige radioaktive Abfälle in Betrieb sein soll, wird die IGD-TP als das angemessene Werkzeug angesehen, den Implementierungsprozess zu unterstützen.

Ein wesentliches Produkt der IGD-TP ist die *Strategic Research Agenda* (SRA), in der wirtsgesteinübergreifend Schlüsselthemen 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 Förderkonzept abgebildet. Sie stellen eine Basis für zukünftige, als prioritär zu bearbeitende, FuE-Aktivitäten dar und definieren auch Randbedingungen für die Ausführung der Projekte (z.B. bilaterale sowie multilaterale Kooperationen, Europäische Forschungsrahmenprogramme). Umgesetzt werden die Schlüsselthemen im *Deployment Plan*, der zeitlich und fachlich prioritäre Themen in gemeinsamen, meist durch EU-kofinanzierten Verbundvorhaben bearbeitet. Die Plattform organisiert auch Tagungen, und kooperiert mit anderen europäischen Organisationen und Plattformen. Zurzeit sind Mitglieder aus 25 Ländern in der Technologieplattform vertreten.

### **3. Aktueller Wissenstand**

Aufgrund des großen Umfangs der vorhandenen Kenntnisse wird in diesem Kapitel lediglich ein allgemeiner Überblick über bisherige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung in den Wirtsgesteinen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein gegeben. Ausgewählte Referenzen und Hinweise auf Primärliteratur verweisen auf weiterführende Informationsquellen. Die zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Verlauf der letzten zwei Jahrzehnte durch die Ressorts BMBF (vormals BMFT) und BMWi finanziert.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden Forschungsaktivitäten zur Endlagerung hochradioaktiver Wärme entwickelnder Abfälle in allen Wirtsgesteinen durchgeführt. Da in Deutschland die Endlagerung im Wirtsgestein Steinsalz (Salzstock) vorgesehen war, wurde das damit zusammenhängende Konzept intensiver mit FuE-Aktivitäten unterlegt. Diese Arbeiten wurden durch Forschungsaktivitäten zu alternativen Wirtsgesteinen (Kristallingestein und Tonstein) ergänzt und hinsichtlich der zu erarbeiteten Wissensbasis erweitert. Ebenfalls wurden Aktivitäten gefördert, die wirtsgesteinsübergreifende Aspekte eines Endlagers als Bergwerkslösung behandeln. Auf den erreichten Wissensstand und die derzeit durchgeführten Arbeiten wird kurz und cursorisch eingegangen. Eine ausführliche Auflistung der bisher geförderten FuE-Aktivitäten befindet sich im Anhang.

Aufgrund des engen thematischen Bezugs zu den endlagerbezogenen FuE-Aktivitäten wird an einigen Stellen auf die bis zum Jahr 2011 durch das BMBF geförderten Arbeiten zur untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle verwiesen. So wurden FuE-Arbeiten zu geochemischen Sachverhalten und zu Verschlussmaßnahmen auch für chemotoxische Abfälle durchgeführt. Die Auflistung der FuE-Projekte findet sich ebenfalls im Anhang.

Alle der im Rahmen der BMBF- oder BMWi-geförderten FuE-Vorhaben erzielten Ergebnisse sind in Abschlussberichten dokumentiert und veröffentlicht und auch über die Technische Informationsbibliothek in Hannover zugänglich. Die Ergebnisse der BMBF- und BMWi-Förderung werden seit Mitte der 1990iger Jahre bei regelmäßig stattfindenden Projektstatusgesprächen einem größeren Kreis von Wissenschaftlern, Vertretern von Ministerien und Behörden sowie der interessierten Öffentlichkeit präsentiert /PTK/.

#### **3.1. FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Steinsalz**

##### **Bisherige Arbeiten und Kenntnisstand**

Salzformationen wurden bereits 1957 in einem Bericht der Amerikanischen Akademie der Wissenschaften als geeignet für die Endlagerung radioaktiver Abfälle angesehen /NAS 1957/. In Deutschland wurde bereits 1963 im Zweiten Deutschen Atomprogramm eine Empfehlung für die Endlagerung im Steinsalz ausgesprochen. Ein Gutachten der Bundesanstalt für Bodenforschung, der Vorgängerorganisation der jetzigen Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), bestätigte die positiven Eigenschaften des Gesteins. Eine weitere Untersuchung und Bewertung von Salzformationen im Hinblick auf die Endlagerung Wärme entwickelnder Abfälle wurde 1995 von der BGR durchgeführt /KOC et al. 1995/.

Gründe für die positive Einschätzung von Steinsalz als geeignetes Wirtsgestein waren günstige stoffliche Eigenschaften wie dessen plastisches Verhalten, das vor allem 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 im geogenen, ungestörten Zustand. Überdies vorteilhaft sind die gebirgsmechanischen Eigenschaften von Steinsalz, die eine Herstellung großer Hohlräume ohne technischen Ausbau ermöglichen.

In den 1980er Jahren wurde begonnen, über andere Entsorgungstechniken als Alternative zur damals angestrebten Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente mit anschließender Endlagerung des hochaktiven Abfalls (geschlossener Brennstoffkreislauf) nachzudenken. Im Rahmen einer Gegenüberstellung betrachtete man erstmals die Option der direkten Endlagerung von abgebrannten Brennelementen (offener Brennstoffkreislauf) /CLO 1980/.

Ab 1985 wurde die Option der direkten Endlagerung im Rahmen konkreter FuE-Aktivitäten untersucht. Wesentlicher Bestandteil dieser Aktivitäten, die 1995 beendet wurden, war das Forschungsprogramm „Direkte Endlagerung“ mit dem Ziel, diese Option zur Anwendungsreife zu entwickeln.

Das Endlagerkonzept zur direkten Endlagerung sieht die Einlagerung abgebrannter Brennelemente in großen selbstabschirmenden POLLUX-Behältern in Strecken im Bergwerk vor (sog. Streckenlagerung). Dazu wurden vier Demonstrationsversuche durchgeführt: „Simulation des Schachttransports“, „Handhabungsversuche zur Streckenlagerung“, „Aktives Handhabungsexperiment mit Neutronenquellen“ und „Thermische Simulation der Streckenlagerung“. Im konzeptionellen Teil der Arbeiten wurden im Rahmen von sicherheitsanalytischen Studien verschiedene Einlagerungsvarianten betrachtet, wie z. B. die gemeinsame Einlagerung von Wiederaufarbeitungsabfällen zusammen mit direkt endzulagernden Brennelementen /KES 1998/.

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

Bestandteil des Programms war auch die Entwicklung eines Safeguardskonzeptes für ein Endlager für abgebrannte Brennelemente in Übereinstimmung mit IAEA-Anforderungen.

Im Rahmen des Programms „Direkte Endlagerung“ wurde auch eine Studie durchgeführt, in der die Möglichkeit der Rückholbarkeit der POLLUX-Behälter behandelt wurde. Es wurde gezeigt, dass es grundsätzlich möglich ist, die POLLUX-Behälter aus einem Endlager zurück zu holen, wenn auch mit hohem technischem und finanziellem Aufwand.

Die Thematik der Rückholbarkeit wurde im Rahmen des BAMBUS II-Projektes für die Bohrlochlagerung untersucht und die prinzipielle Machbarkeit gezeigt /BEC et al. 2003/.

Im Jahr 1995 wurde das Programm „Direkte Endlagerung“ erfolgreich 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 nach geltendem Recht heute die einzige Entsorgungsoption für abgebrannte Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken.

#### *Dokumentationen zum Kenntnisstand zur Endlagerung im Steinsalz*

Der bezüglich der Endlagerung im Steinsalz vorliegende wissenschaftliche und technische Kenntnisstand wurde in den letzten Jahren in folgenden Dokumentationen dargestellt.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hatte im Jahr 2005 als Ergebnis der Beantwortung konzeptioneller und sicherheitstechnischer Einzelfragen („Zweifelsfragen“) zum Salzstock Gorleben 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 behandelt und dokumentiert /BfS 2005/. Neben Steinsalz wurden auch andere Wirtsgesteine betrachtet.

Im Jahre 2009 wurde durch die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) und das Öko-Institut Darmstadt das im Auftrag des BMWi erarbeitete Übersichtswerk „Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland“ /BRA et al. 2008/ veröffentlicht,

in welchem der aktuelle Stand der Wissenschaft und der Stand der Technik zur Endlagerung ausführlich dargelegt wurde.

Im Auftrag des BMUB wurde von 2009 bis 2013 das Projekt mit der Bezeichnung „Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben (VSG)“ durchgeführt. Der aktuelle Kenntnisstand zum Konzept der Endlagerung im Steinsalz, Informationen zum Inventar („Ausstiegs-szenario“) sowie der Kenntnisstand über den Standort waren die Grundlagen dafür /FIS et al. 2013/. Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass das verwendete Sicherheits- und Nachweis-konzept angemessen und anwendbar war. Wichtige Ergebnisse waren Empfehlungen für zu-künftige Sicherheitsanalysen, die Ableitung von bestehendem Forschungs- und Entwicklungs-bedarf und Überlegungen zur Anwendung methodischer und technisch-konzeptioneller Ele-mente in einem zukünftigen Standortauswahlverfahren.

Die Übertragbarkeit bisher vorliegender Erkenntnisse aus Salzstöcken auf Steinsalzvorkom-men in flacher Lagerung wird durch gezielte FuE-Arbeiten zu überprüfen sein.

#### *Einlagerungstechnik*

Eine Reihe von Aktivitäten, vor allem im Programm „Direkte Endlagerung“, hatten die Ent-wicklung und Erprobung der Einlagerungstechnik zum Ziel. Diese Aktivitäten wurden erfolg-reich abgeschlossen /KES 1998/.

Die Technologie entsprach dem damaligen Stand von Wissenschaft und Technik.

Eine Technik zur Erstellung von Großbohrlöchern steht nach der erfolgreichen Erstellung von zwei rund 180 m tiefen Bohrschächten von 3,5 m Durchmesser zur Verfügung /KOL 1993/.

Die Machbarkeit der Einlagerung in vertikalen Bohrlöchern von Brennstabkockillen zur Endlage-rung unzerschnittener, bestrahlter Brennstäbe sowie von Kockillen für die Endlagerung verglas-ter Abfälle aus der Wiederaufarbeitung wurde gezeigt und großmaßstäblich demonstriert. Ein Konzept und die Technik dafür konnten erfolgreich entwickelt werden /FIL et al. 2010/.

#### *Verhalten des Wirtsgesteins Steinsalz*

Kenntnisse zu den Eigenschaften des Wirtsgesteins Steinsalz sind in Hinblick auf die Ein-schätzung seiner Barrierenintegrität und damit für die Sicherheit eines Endlagers (u. a. Kon-zept des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs) wichtig. In wissenschaftlichen Arbeiten wur-den dazu grundlegende Kenntnisse über die sicherheitsrelevanten Eigenschaften und das Verhalten des Wirtsgesteins Steinsalz unter geogenen und unter Endlagerbedingungen ermit-telt.

Arbeiten zur Ermittlung der thermischen und mechanischen Eigenschaften von Steinsalz so-wie Fragestellungen mit geochemisch-hydraulischem Bezug wurden durchgeführt. Methoden und Verfahren zur Bestimmung der Parameter wurden entwickelt und getestet.

Wichtige Erkenntnisse zu den im Nahfeld ablaufenden Prozessen konnten u.a. aus In-situ-Versuchen gewonnen werden /ROT et al. 1988/.

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 Aussagen zum kurz- und langfristigen Verhalten der geologischen Barriere wichtig. Der Kenntnisstand hierüber ist in den zurückliegenden Jahren kontinuierlich vertieft worden.

Mit dem Verbundvorhaben BARIAN wurde das Barriereverhalten von Anhydrit bei großräumi-gen Spannungsumlagerungen eingehend und abschließend untersucht. Mit den Ergebnissen konnte ein wichtiger Beitrag zur sicherheitstechnischen Einschätzung des Anhydrits, ein we-gen seiner mechanischen Eigenschaften ungünstiges Gestein, erbracht werden /KAM et al. 2002/.

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

Der aktuelle Stand, die Möglichkeiten und Grenzen vorhandener, aktueller Steinsalzstoffge-setze wurden in einem vom BMBF geförderten und im Jahr 2006 abgeschlossenen Verbund-

vorhaben überprüft und bewertet. In einer zweiten, ebenfalls durch BMBF geförderten Phase, erfolgten 3D-Modellrechnungen zum mechanischen Langzeitverhalten eines realen Untertagebauwerkes /HAM et al. 2010/.

Auf die langfristige Stabilität von Steinsalz - in Bezug auf die Dichtheit gegenüber fluiden Phasen - konnte durch Untersuchungen des geogenen Gasinventars geschlossen werden /MEN 2005/. Mineralogisch-petrographische und geochemische Untersuchungen sowie geochemische Modellierungen trugen dazu bei, den festen, flüssigen und gasförmigen Stoffbestand der geologischen Barriere Steinsalz aufzuklären /SIE 2007/. Diese Informationen dienen 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 Schlussfolgerungen für die zukünftige Entwicklung (natürliches Analogon). Mit den Untersuchungen konnte für einen Salzstock (am Beispiel Gorleben) gezeigt werden, dass seit 250 Millionen Jahren keine wässrigen Lösungen aus dem Deckgebirge und dem Nebengestein in das Salzstockinnere zugetreten sind.

#### *Geotechnisches Barriersystem*

Wichtige Arbeiten zum geotechnischen Barriersystem (Schachtverschluss, Streckenverschluss, Verfüllmaterial) für ein Endlager im Steinsalz sind in den vergangenen Jahrzehnten durchgeführt worden. Das Forschungsvorhaben Dammbau im Salzgebirge /BOL 1999/ sollte die bauliche Machbarkeit im Großmaßstab zeigen.

Untersuchungen zum Versatzmaterial Salzgrus (TSS-Versuch, Porositätsuntersuchungen) hatten und haben die Ermittlung der Parameter und Eigenschaften zum Ziel, die für die Einschätzung der Barrierefunktionen vor allem im Hinblick auf sicherheitsanalytische Belange notwendig sind. In letzter Zeit wurde – auch in Zusammenarbeit auf europäischer Ebene – Untersuchungen in Hinsicht auf Maßnahmen zum Verschluss- und zur Versiegelung eines Endlagers durchgeführt (u.a. Materialuntersuchungen, großmaßstäbliche Versuche, Modellierungen; siehe auch /www.posiva.fi/dopas/).

Der Stand der Kenntnisse wurde auf dem Workshop „Verschlussysteme in Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle in Salzformationen“ im Jahr 2011 diskutiert und Weichen für zukünftige Arbeiten gestellt /GRS 2011/.

Für die Sicherheitsbewertung untertägiger Entsorgungseinrichtungen im Wirtsgestein Steinsalz (sowohl Untertagedeponien als auch Endlager für hoch radioaktive Abfälle) wichtige FuE-Arbeiten wurden bis 2011 auch durch BMBF im FuE-Schwerpunkt „Untertagedeponierung“ gefördert.

So waren 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 hochsalinen Milieu dort angesiedelt. Die grundsätzliche Übertragbarkeit dieser Konzepte auf die besonderen Anforderungen eines Endlagers für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle ist gegeben.

Wie im Rahmen des Projektes ISIBEL („Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW“ /KRO et al. 2008/) u.a. gezeigt werden konnte, spielen die mechanisch-hydraulischen Eigenschaften von Salzgrusversatz eine wesentliche Rolle bei der sicherheitstechnischen Bewertung des Endlagerkonzeptes (vertikale Bohrlochlagerung). Die experimentelle Behandlung dieses Themas erfolgte im Projekt REPOPERM, 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 /KRÖ et al. 2009/. Im Anschluss daran werden im Rahmen aktueller Untersuchungen detailliertere Kenntnisse ermittelt.

Untersuchungen zu geotechnischen Verschlussmaßnahmen stehen 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 Kristallin detektiert und charakterisiert werden. Die vorliegenden Kenntnisse erlauben zudem die modellmäßige Behandlung der ALZ in Sicherheitsanalysen, wobei das Prozessverständnis im Detail verbesserungsbedürftig ist und durch weitere FuE-Aktivitäten zu untersetzen wäre.

#### *Radionuklidmigration und Quellterm*

Aus sicherheitsanalytischen Erwägungen heraus ist auch der Fall einer Mobilisierung von Radionukliden zu betrachten. Es sollte daher ein möglichst umfassendes Verständnis über die physikalisch-chemischen Prozesse vorliegen, die den Freisetzungsprozess aus der Abfallmatrix nach erfolgter Korrosion bzw. mechanischer Schädigung des Abfallbehälters zu beschreiben gestatten. Neben dem allgemeinen Verständnis über das Verhalten der Radionuklide kommt insbesondere der Geochemie der Radionuklide ein wesentlicher Anteil im Kontext der Beschreibung und Bewertung der Sicherheit eines Endlagersystems zu.

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 sowie im Fernfeld von Bedeutung.

Da Radionuklide sowohl am Salzgestein als auch am Salzgrusversatz praktisch nicht sorbieren, könnte für ein Endlager im Steinsalz die Immobilisierung sicherheitsrelevanter Radionuklide im Rahmen der Sicherheitsbewertung von Interesse sein.

Bezüglich einer möglichen Immobilisierung von Uran im Nahfeld des Endlagers wurden Mitte der 1990er Jahre Untersuchungen mit Hydroxylapatit (HAP) als Zuschlagstoff im Versatz durchgeführt. Auch in Gegenwart hochsalinärer Lösungen mit Eisen aus Korrosionsprozessen konnte zwar eine Ausfällung von Uranylphosphaten aber keine langfristige und vollständige Sorption des Urans beobachtet werden /MAR 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 sog. „Organotone“, aus Dreischicht-Tonmineralien durch Austausch der Zwischenschichtkationen durch organische Kationen erzeugt, auf ihre Eignung als Anionenadsorber untersucht /MIC 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 allerdings keine gravierenden Vorteile ermittelt werden, die den Einsatz solcher Materialien nahelegen.

Um die Radionuklidausbreitung im Rahmen sicherheitsanalytisch relevanter Szenarien beurteilen zu können, wurden seit 1995 Untersuchungen zum Migrationsverhalten in wasserführendem Deckgebirge im Rahmen von Forschungsverbänden („Huminstoff-Verbund“) durchgeführt. Der Verbund hatte anfangs seine Arbeiten auf eine mit den Gorleben-Aquiferen vergleichbare Situation konzentriert, weil die damals für die Sicherheitsanalyse geltenden Randbedingungen das Deckgebirge als eigene Barriere betrachtete, was durch einen Paradigmenwechsel im sicherheitsanalytischen Ansatz geändert wurde (u.a. ISIBEL, VSG).

Zur Komplexierung von Radionukliden unter naturnahen Bedingungen in Gesteins-Huminstoff-Systemen mit Lösungen hoher Ionenstärke wurden 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 /MAR 2000/. Der Schwerpunkt der Aktivitäten in der von 2003 bis 2011 währenden Phase verlagerte sich auf das System Tonstein-Huminstoff-Aquifer /MAR 2012/. Aktuell bearbeitet der sog. „Actiniden-Verbund“ vertieft Frage-

stellungen zur Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen.

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. Das Ziel ist die Schaffung einer qualitativ hochwertigen, einheitlichen Datenbasis, die in Genehmigungsverfahren für untertägige Entsorgungseinrichtungen als verbindliche Grundlage von geochemischen Modellierungen dient /ALT et al. 2011/.

#### *Korrosionsprozesse, Gasbildung und Gastransport*

Zur Korrosion verschiedener Behältermaterialien in relevanten wässrigen Systemen, die der dominante Prozess für die Gasentwicklung ist, wurden insbesondere am Karlsruher Institut für Technologie im Institut für Nukleare Entsorgung (INE) über viele Jahre Untersuchungen durchgeführt /SMA et al. 1989/, /BEC 2003/. So konnte das Korrosionsverhalten bestimmt und die Art der Korrosion ermittelt werden. Damit konnten auch Kenntnisse zu Abtragungsraten gewonnen werden. Diese Informationen dienten sowohl dazu, Gasbildungsraten und damit die Größenordnungen der gebildeten Gasmenge zu bestimmen, als auch konservativ festgelegte Behälterstandzeiten abzuleiten, die als Eingangsdaten für Sicherheitsanalysen von Bedeutung waren.

Untersuchungen zur Kernbrennstoff-Korrosion, vor allem in salinaren korrosiven Medien, wurden und werden ebenfalls vom Karlsruher Institut für Technologie (siehe /KIE et al. 2001/ sowie [www.ine.kit.edu](http://www.ine.kit.edu)) und vom Forschungszentrum Jülich, hier speziell am Brennstoff von Materialtestreaktoren (MTR), durchgeführt /BRÜ et al. 2001/. In Abhängigkeit von den in Betracht gezogenen Wirtsgesteinen wurden chemisch unterschiedliche wässrige Medien (hoch salinare Lösungen, Ton-Poren- und Granitwässer) berücksichtigt. Radionuklidfreisetzungsraten infolge korrosiver Zerstörung des Zirkalloy-Hüllrohrs wurden ermittelt sowie die Prozesse Gasentwicklung, Phasenumwandlungen und -neubildungen untersucht.

Die Korrosion verglaster Abfälle aus der Wiederaufarbeitung und damit die Stabilität von hochaktiven verglasten Abfällen 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.

Sowohl bei Auflösungsvorgängen 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/.

Gasbildung und Gastransport werden als relevante Themen im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen zur Endlagerung in dichten Gesteinen wie Steinsalz oder Tonstein berücksichtigt. Relevante Fragestellungen zu den Themenkomplexen Gasbildungsprozesse, 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 wurden auf einem GRS/PTKA-WTE-Workshop im April 2007 („Gas-Workshop“) detailliert diskutiert /RÜB et al. 2007/. Im EU-Projekt Forge (Fate of Repository Gases) wurde das Thema eingehend behandelt und der Einfluss von Gas u.a. auf geotechnische Barrieren und geologische Barrieren betrachtet und auch der Einfluss geochemischer Randbedingungen experimentell und modelltheoretisch behandelt ([www.bgs.ac.uk/forge](http://www.bgs.ac.uk/forge)).

Die bislang geltenden Vorstellungen zur Auswirkung eines sich im Endlager bildenden 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 bei Übersteigen des auflastenden Gebirgsdrucks eine Zerstörung der Kristallstruktur nur bei einem sehr schnellen Druckanstieg. Dieser ist in einem Endlager für hoch radioaktive Abfälle nicht zu erwarten. Weitere Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Sekundärpermeabilität als potenzieller Migrationspfad 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.

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 relevante Themen zum Wirtsgestein Steinsalz, die sich zum einen mit den Auswirkungen der Auflockerungszone, zum anderen mit der Nutzung der Ergebnisse für Sicherheitsanalysen befassten, untersucht und bewertet worden /SNY 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.

Grundlagen dazu legte das im Zeitraum 1977-1984 durchgeführte „**Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung**“ (PSE), in dem Störfallereignisse in Einrichtungen der nuklearen Entsorgung, einschließlich des Endlagers, analysiert wurden /PSE 1985/.

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) /CAD et al. 1988/ und PACOMA (**P**erformance **A**ssessment of **C**onfinements for **M**edium-Level and **A**lpha-Contaminated Waste) /HIR et al. 1991/ sowie bei der **S**ystemanalyse **M**ischkonzept (SAM) im Rahmen des FuE-Programms Direkte Endlagerung zur Anwendung /STO 1993/.

Nach den Arbeiten zu systemanalytischen Fragestellungen in den 1980er und 1990er Jahren wurden in Deutschland bis zur Realisierung der VSG keine systemanalytischen Arbeiten im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung eines Endlagersystems mehr durchgeführt. Da sich die Kenntnisse, Instrumente und Methoden auf diesem Gebiet sowohl national als auch international deutlich weiterentwickelt hatten, wurde im Jahr 2005 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 das Wirtsgestein Steinsalz, die substantielle Darstellung eines geologischen Standortmodells, die Betrachtung der Betriebsphase, der Integritätsnachweis für technische und geotechnische Barrieren und die Untersuchung von Abläufen, die möglicherweise zu einer Freisetzung von Radionukliden aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich führen können /KRO et al. 2008/. Der FEP-Katalog für das Wirtsgestein Steinsalz wurde einem externen Review unterzogen.

Dieses in ISIBEL entwickelte Nachweiskonzept war Bestandteil der konzeptionellen und methodischen Basis für die 2010-2013 erarbeitete vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben (VSG), wobei die Grundlage das Referenzkonzept (basierend auf Direkter Endlagerung) war und als weitere Variante die vertikale Bohrlochlagerung betrachtet wurde.

Einen wichtigen Beitrag zum Thema Sicherheitsanalyse im Hinblick auf die Entwicklung eines Sicherheitsnachweises (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 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 /RÜB et al. 2010/.

Mit dem Programm d<sup>3</sup>f (**d**istributed **d**ensity **d**riven **f**low) und dem Transportprogramm r<sup>3</sup>t (**r**adionuclides, **r**eaction, **r**etardation and **t**ransport) liegen weitere 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 /FEI et al. 2008 und /SCH 2012/.

#### *Analoga (natürliche und anthropogene)*

Für in der Geosphäre ablaufende Prozesse, bei denen große räumliche Dimensionen, komplexe Geologie und vor allem lange (geologische) Zeiträume von Relevanz sind, kann das Studium von natürlichen oder auch anthropogenen Analoga eine wertvolle Unterstützung bei der Modellbildung und für die Modellierung sein. Analoga können auch dazu beitragen die Relevanz der wesentlichen Prozesse, des konzeptionellen Modells sowie die Plausibilität und Realitätsnähe der Modellannahmen zu beurteilen.

Das Werkzeug „Analoga“ wird auch in verschiedenen Endlagerprogrammen, insbesondere zur Unterstützung des Safety Case eingesetzt (siehe auch [www.natural-analogues.com](http://www.natural-analogues.com)).

Ein für deutsche Belange wichtiges Projekt zu Natürlichen Analoga (NA) wurde in Kooperation mit tschechischen Institutionen durchgeführt und hatte das Studium des Verhaltens von Uran und Thorium in tertiären Sedimenten zum Gegenstand. Arbeiten dazu waren auch Teil des EU-Projekts FUNMIG (**F**undamental Processes of Radionuclide **M**igration). 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 /NOS 2009/.

In einem weiteren Vorhaben wurde die Anwendbarkeit von natürlichen Analoga für den Sicherheitsnachweis eines HAW-Endlagers in Steinsalz untersucht /WOL et al. 2011/.

### **Laufende Arbeiten**

#### *Einlagerungstechnik*

In einem aktuell durchgeführten Vorhaben der DBE Tec (Förderkennzeichen 02E11263) wird der Schachttransport schwerer Lasten bis zu 175 Tonnen im Rahmen einer Machbarkeitsstudie untersucht.

#### *Verhalten des Wirtsgesteins Steinsalz*

Eine dritte Phase zum Vergleich aktueller Stoffgesetze mit den Schwerpunkten Modellrechnungen zum thermo-mechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz wird aktuell in einem durch BMWi geförderten Verbundvorhaben von sechs nationalen Forschungsstellen in Zusammenarbeit mit dem assoziierten Projektpartner Sandia National Laboratories (Albuquerque, New Mexico, USA) bearbeitet.

### *Geotechnisches Barriersystem*

Im Rahmen des Projekts ISIBEL wurde bereits aufgezeigt, dass die mechanisch-hydraulischen Eigenschaften von Salzgrusversatz für die sicherheitstechnische Bewertung von Bedeutung sind. Arbeiten dazu werden im FuE-Verbundvorhaben REPOPERM durchgeführt.

Diffusion kann nach langer Zeit eine Rolle bei der Radionuklidausbreitung spielen. Um dieses Szenario zu untersuchen erfolgen aktuell Experimente zur Diffusion in kompaktiertem Salzgrus im Rahmen des DIKOSA-Projekts (Förderkennzeichen 02E10951).

Arbeiten zu Schachtverschlüssen (u.a. Konzepte und Materialuntersuchungen) werden im Verbundvorhaben ELSA untersucht.

### *Radionuklidmigration und Quellterm*

Trotz umfangreicher und detaillierter Korrosionsuntersuchungen an Behältermaterial blieben bislang Fragen hinsichtlich der Bildung von Sekundärphasen in Folge der Korrosion und deren Wirksamkeit als chemische Barriere unberücksichtigt. Da 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. Die Bildung von Sekundärphasen, die durch Korrosion von Kernbrennstoff sowie bei hochaktiven verglasten Abfällen entstehen, und deren Wirkungen sind zu berücksichtigen.

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 im EU-Vorhaben „First Nuclides“ bearbeitet wird (siehe auch [www.firstnuclides.eu](http://www.firstnuclides.eu)). Zur Prüfung, welche Effekte auftreten, wenn eine mögliche Endlagerung von Forschungsreaktorbrennelemente in Deutschland erfolgen sollte, sind Informationen zur Matrixstabilität und zum Freisetzungsverhalten der enthaltenen, Dosis bestimmenden Radionuklide zu ermitteln. Diese Fragen sind Gegenstand laufender Projekte.

Die Anwesenheit von wässrigen Phasen bzw. von Wasserdampf bei verglasten Abfällen kann ebenfalls zu einer Radionuklidfreisetzung führen, wobei es zu Korrosion der Glasmatrix bzw. zum selektiven Herauslösen von Radionukliden kommt. 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. 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. Aktuell wird noch Forschungsbedarf zur Bildung von Sekundärphasen und deren retardierenden Einfluss auf die Radionuklidsorption gesehen.

Für Modellrechnungen zum Verhalten der Radionuklide in aquatischen Systemen werden Speziations- und Löslichkeitsdaten benötigt. Die thermodynamischen Daten zeigten erhebliche Inkonsistenzen im Hinblick auf Vollständigkeit für die relevanten Elemente, was die Aussage der Modellierungsergebnisse einschränkte. Um diese Unsicherheiten zu beheben, wurde gemeinsam durch BMWi, BMBF und BMU/BfS finanziert, das Verbundvorhaben THEREDA zur Erstellung einer konsistenten thermodynamischen Referenzdatenbasis durchgeführt /ALT et al. 2011/. Die Pflege, Fortführung und Finanzierung der Datenbank erfolgt seit 2014 durch BfS. Aktuelle Forschungsvorhaben des BMWi zu geochemischen Fragestellungen überführen ermittelte thermodynamische Daten kontinuierlich in die Referenzdatenbank.

Im Rahmen eines Verbundvorhabens zu langlebigen und mobilen Spalt- und Aktivierungsprodukten im Nahfeld eines Endlagers (VESPA) wurden 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. Ein wichtiges Ziel des Vorhabens bestand im Abbau von bisher im Langzeitsicherheitsnachweis eingesetzten konservativen Annahmen durch konkret ermittelte thermodynami-

sche Daten zu mobilen Spalt- und Aktivierungsprodukten. Die erfolgreichen Arbeiten sollen in einer zweiten Projektphase fortgeführt werden.

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

- Vervollständigung thermodynamischer Daten, auch bei höheren Temperaturen, speziell für salinare Nahfeldbedingungen,
- Bildung von Sekundärphasen in Folge von Behälter- und Abfallmatrixkorrosion und deren retardierender Einfluss auf die Radionuklidsorption,
- Arbeiten zur Verbesserung des Verständnisses von Rückhalte- und Transportprozessen speziell gering sorbierender Radionuklide; belastbare Beschreibung von Rückhalteprozessen durch thermodynamische Modelle.

#### *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.

So sind die bereits erwähnten Programme  $d^3f$  (**d**istributed **d**ensity **d**riven **f**low) und  $r^{3t}$  (**r**adionuclides, **r**eaction, **r**etardation, and **t**ransport) Gegenstand aktueller Fördermaßnahmen. Im aktuellen Vorhaben „Qualifizierung der Rechenprogramme  $d^3f$  und  $r^{3t}$ “ (QUADER) erfolgt eine Qualifizierung beider Rechenprogramme anhand realer Problemstellungen.

Im Rahmen des aktuellen Verbundprojekts „Weiterentwicklung des Smart- $K_d$ -Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen“ (WEIMAR) werden die Arbeiten bezüglich des im Verbundvorhabens „Realitätsnahe Einbindung von Sorptionsprozessen in Transportprogramme für die Langzeitsicherheitsanalyse“ (ESTRAL) entwickelten Smart- $K_d$ -Konzeptes zum besseren Verständnis von Sorptionsprozessen fortgeführt. Das Konzept wurde in das Transportprogramm  $r^{3t}$  implementiert. Im laufenden Vorhaben wird die Sorptionsdatenbasis ergänzt sowie das bisherige Konzept um weitere relevante Effekte und Prozesse erweitert.

Zur Modellierung der Radionuklidmigration sind weiterhin 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,
- 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*

Für untertägige Entsorgungseinrichtungen in salinaren Wirtsgesteinen (Untertagedeponien) wurden im Fördergebiet des BMBF zur Ablagerung gefährlicher Abfälle unter Tage, welches zum Ende des Jahres 2011 ausgelaufen ist, mehrere FuE-Vorhaben durchgeführt. 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 /ROT 2011/.

Die Kompaktion von Salzgrus, der als arteigenes Material zum Versatz von Strecken in einem Endlager im Salz verwendet werden kann, führt langfristig zu einer vollständigen Abdichtung der Strecken. Dieser Prozess wurde eingehend untersucht und ist bis in den Bereich kleiner Porositäten gut prognostizierbar. Nur im Bereich sehr kleiner Porositäten besteht weiterer FuE-Bedarf.

Die Untersuchungen zu geotechnischen Verschlussmaßnahmen stehen in enger Beziehung zu den Untersuchungen zur Auflockerungszone (ALZ) im Steinsalz. Die bisher vorliegenden Kenntnisse erlauben die modellmäßige Behandlung der ALZ in Sicherheitsanalysen. 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 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.

Aktuell wird das Thema in BMWi-Vorhaben zur Vergütung der Auflockerungszone im Salinar (VerA Phase II), zu laborativen und modelltechnische Untersuchungen zum hydraulisch-mechanisch gekoppelten Rekompaktionsverhalten der ALZ (LASA-EDZ) und zum strömungstechnischen Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke im Steinsalz und zu deren flüssigkeitsgestützter Abdichtung (Funktionsnachweis) bearbeitet.

Dambauwerke in den Zugangsstrecken zwischen Schacht und Einlagerungsfeldern sind von entscheidender Bedeutung für die Langzeitsicherheit eines Endlagers. Für ein HAW-Endlager sind die Adaption und die Möglichkeit der Umsetzung bisheriger Konzepte weiterhin zu prüfen. Die Vorgehensweise zum ingenieurtechnischen Sicherheitsnachweis für Dammbauwerke ist zu formulieren.

Die technische Realisierbarkeit von langzeitsicheren Schachtverschlüssen nach Bergrecht wurde anhand einer Option nachgewiesen, die im Rahmen von Verwahrungsmaßnahmen für stillzulegende Gewinnungsbergwerke zur Anwendung kam. Damit existiert ein Stand von Wissenschaft und Technik für dieses wichtige Barriereelement.

Auf dieser Grundlage wurde im Rahmen der VSG ein Konzept für einen Schachtverschluss für ein Endlager für radioaktive Abfälle entwickelt und es erfolgen aktuell Untersuchungen im Rahmen des Vorhabens ELSA zu dieser Thematik. Das Thema Schachtverschluss für ein Endlager für hoch radioaktive Abfälle in Steinsalz ist auch international 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. Aktuell wird ein Verbundvorhaben zur Entwicklung eines Verschlusskonzeptes für ein Endlager für hoch radioaktive Wärme entwickelnde Abfälle in Deutschland (ELSA Phase II) 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 sowohl für ein Endlager in einer Salzformation als auch in einer Tonsteinformation entwickelt.

Eingebettet in das von der Europäischen Kommission (EC) geförderte Projekt DOPAS („Full-Scale Demonstration of Plugs and Seals“) werden vom BMWi die beiden Teilprojekte LASA und LAVA gefördert, die in Abstimmung mit weiteren nationalen Vorhaben zum Thema Schachtverschlüsse, v. a. ELSA, wesentliche Arbeiten zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Schachtverschlüssen im Salinar und speziell von dabei eingesetzten Verschluss-elementen aus Sorelbeton erbringen.

In weiteren, meist als Verbundvorhaben angelegten, FuE-Projekten befassen sich Forschungsstellen derzeit mit einer weitergehenden Optimierung von Materialien (z. B. Magnesia-zemente, Magnesiabindersysteme, selbstabdichtender Salzversatz, gefügestabilisierter Salzgrusversatz und Dichtelement aus Salzschnittblöcken) 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 ab-

gesicherten Wissensbasis zu Verschlussmaßnahmen für untertägige Entsorgungseinrichtungen ausgehen. Auf der Grundlage dieser Vorhabensergebnisse sollen dann weitere Aktivitäten im Bereich der anwendungsorientierten Endlagerforschung des BMWi bewertet werden.

### **3.2 FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Tonstein / Ton**

#### **Bisherige Arbeiten und Kenntnisstand**

Konsolidierte Tonsteine in Frankreich und in der Schweiz werden als potenzielles Wirtsgestein für die Endlagerung Wärme entwickelnder, hoch radioaktiver Abfälle untersucht. Plastische Tone wie der belgische Boom-Clay sind in Deutschland in geeigneter Teufenlage und Mächtigkeit nicht vorhanden. Untersuchungen dazu wurden in geringem Umfang und mit spezieller Fragestellung (Gasentwicklung) in den 1990er Jahren durchgeführt.

Anfang der 2000er Jahre erfolgte in Deutschland der verstärkte Einstieg in FuE-Aktivitäten mit Bezug zu Tonstein, der bis dahin im Vergleich zu Steinsalz weniger intensiv untersucht worden war. Aufgrund geänderter politischer Rahmenbedingungen war die neue Zielstellung, alternative Wirtsgesteine zu Steinsalz zu untersuchen, um einen adäquaten Kenntnisstand zur Bewertung unterschiedlicher Wirtsgesteinsoptionen zur Verfügung zu haben.

Derzeit ist Tonstein nach Meinung vieler Sachverständiger die einzige in Deutschland in Betracht zu ziehende Wirtsgesteins-Alternative zu Steinsalz, sofern die geologische Barriere die Hauptlast des Einschusses tragen soll. Im Jahr 2007 wurden in einer durch BMWi initiierten Studie der BGR /HOT et al. 2007/ Regionen mit untersuchungswürdigen Tonsteininformationen in Nord- und Süddeutschland ausgewiesen. Anwendung fanden u.a. die Kriterien des AkEnd bezüglich der zu berücksichtigenden Tiefenlage.

Insbesondere die sehr geringe Durchlässigkeit und die hohe Sorptionsfähigkeit sind für die Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen günstige Eigenschaften von Ton. Allerdings bestehen u.a. Fragestellungen hinsichtlich bergbaulicher Belange (Hohlraumstabilität und Ausbau) und hinsichtlich des Endlagerkonzeptes.

Da in Deutschland kein Untertagelabor in Tonstein vorhanden ist, beteiligen sich aktuell deutsche Forschungsinstitutionen im Rahmen internationaler Forschungsprogramme an Experimenten zu diesem Gestein in ausländischen Untertagelaboren. Die aus Untersuchungen in internationalen Projekten erzielten und künftig erzielbaren Erkenntnisse können mit allen Einschränkungen prinzipiell auch auf deutsche Tonsteininformationen übertragen werden. Zudem besteht für deutsche Forschungseinrichtungen nur in ausländischen Untertagelabors die Möglichkeit, Expertise und spezifische Kenntnisse aus In-situ-Arbeiten zu gewinnen.

Anwendungsorientierte experimentelle Forschungsarbeiten werden in den Untertagelaboratorien in Mont Terri (Schweiz) und in Bure (Frankreich) realisiert. Beispielsweise sind BGR und GRS an In-situ-Experimenten im Felslabor Mont Terri beteiligt (siehe [www.mont-terri.ch](http://www.mont-terri.ch)). Themen sind: Untersuchungen zur Zusammensetzung des Porenwassers sowie zur Wasser- und Gasdurchlässigkeit des Opalinustons, Beschaffenheit der Auflockerungszone, Wärmeeinfluss der Endlagergebäude auf umgebenden Bentonit und angrenzendes Wirtsgestein sowie geomechanische, felsmechanische und hydrogeologische Modellierungen.

Trotz der Vielzahl der bisherigen Arbeiten und Projekte, die von deutschen Forschungseinrichtungen zur Endlagerung in Tongesteinen durchgeführt wurden, ist der Wissens- und Informationsstand im Vergleich zu dem in Deutschland intensiv untersuchten Wirtsgestein Steinsalz deutlich geringer.

### *Endlagerkonzepte*

Konzeptionelle FuE-Arbeiten für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Tonstein in Deutschland wurden 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 hoch radioaktiven Abfällen in Tongestein“ (ERATO) begonnen und hatten ausschließlich generischen Charakter.

Diese Projekte, insbesondere das Projekt GEIST, ließen erkennen, dass die Endlagerung in Tonstein in Deutschland grundsätzlich realisierbar ist. 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 /PÖH et al. 2010/.

### *Verschlussysteme*

Bentonit ist in den Endlagerkonzepten für die Wirtsgesteine Tonstein und kristalline Gesteine 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 Felslabor Grimsel und mit Schweden im Untertagelabor Äspö im Kristallingestein.

In einem im Untertagelabor Mont Terri durchgeführten Experiment zu selbstdichtenden Barrieren (Selbstdichtende Barrieren (SB) - Experiment) wurde 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 wurden im Labor das Aufsättigungsverhalten, die sich einstellenden Quelldrücke sowie die Gas- und Wasserpermeabilitäten von verschiedenen Ton/Mineral-Gemischen ermittelt. Im Technikum wurden die geplanten In-situ-Einbautechniken und die Messtechnik überprüft. Im Untertagelabor Mont Terri wurden 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 /ROT et al. 2012/.

Neben diesen internationalen Arbeiten wurden auch nationale Vorhaben 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 wurden 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 wurden experimentelle und modelltheoretische Grundlagen geschaffen, um die im Nahbereich eines Endlagers für hoch radioaktive Abfälle zu erwartenden Wechselwirkungen von Bentonitbarrieren mit Eisenbehältern qualitativ und quantitativ beschreiben zu können.

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 /XIE et al. 2012/. Die Wechselwirkung von Bentoniten mit Eisen aus Korrosionsprozessen war ebenfalls bereits Gegenstand von FuE-Aktivitäten /HER et al. 2011/.

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.

### *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 /MAR 2008 und 2012/.

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 das Wechselwirkungsverhalten der Actiniden Uran, Neptunium, Plutonium, Americium und Curium mit Tonmineralen, auch für unterschiedliche Speziationen. Darüber hinaus wurden 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.

### **Laufende Arbeiten**

Die Arbeiten betreffen Themen aus den Gebieten Geochemie, Hydrologie und Gebirgsmechanik sowie Fragestellungen zum diffusiven Transport, zu den geotechnischen Barrieren (EBS – Engineered Barrier Systems), zur Auflockerungszone, der Permeabilität und der Mikrobiologie.

FuE-Arbeiten zu Verschlussmaßnahmen sind dabei einer der Schwerpunkte, die zu bearbeiten sind, wobei es in erster Linie um konzeptionelle Fragen zu Versatz- und Verschlussmaßnahmen geht, die z.B. die erforderlichen Ausbaumaßnahmen in Tonstein betreffen und möglicherweise neuartige methodische Ansätze erfordern. Besonderes Augenmerk wird auch dem zeitlichen Verhalten und den THMC-Eigenschaften von Puffer- und Versatzmaterialien gewid-

met werden müssen, sodass die ablaufende Schadstoffausbreitung (durch Diffusion) verlässlich beschrieben werden kann.

Folgende FuE-Arbeiten befinden sich in der Durchführung:

- In-situ- und Labor-Experimente zur Untersuchung der Erzeugung, Freisetzung und Ausbreitung von Fluiden im Tonstein und in den Versatzmaterialien,
- die Entwicklung von Modellen zur Modellierung von gekoppelten THM(C)-Prozessen,
- Untersuchungen zur Ausbreitung von Radionukliden,
- Mikrobiologische Untersuchungen des Wirtsgesteins,
- Untersuchungen an aufgelockerten Gesteinszonen (ALZ),
- Mitarbeit an FuE-Arbeiten zu Verschlussmaßnahmen,
- 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.

#### *Konzepte, Technik und Demonstration*

Im Verbundvorhaben AnSichT wird ein Sicherheits- und Nachweiskonzept für ein generisches Endlagerkonzept erstellt. Hierzu wird der konzeptionelle Ansatz für einen Sicherheitsnachweis entwickelt, der auf der Methodik zum Nachweis der Integrität der technischen, geotechnischen und geologischen Barrieren beruht. Ein wesentlicher Teil der Arbeiten betrifft die Erstellung eines FEP-Katalogs. Die Arbeiten nutzen die Ergebnisse aus den Forschungsprojekten ERATO und GENESIS.

Die bereits im Zusammenhang mit dem Wirtsgestein Steinsalz erwähnten Forschungsaktivitäten zum Transport schwerer Lasten (Förderkennzeichen 02E11263) sind wirtsgesteinsunspezifisch und somit grundsätzlich auch für potenzielle Endlagerstandorte im Tongestein bzw. im kristallinen Gestein von Bedeutung.

#### *Verhalten des Wirtsgesteins Tonstein*

Zu den Eigenschaften von Tonstein besteht weiterhin Forschungsbedarf bezüglich des Verhaltens gegenüber Temperatureinfluss, mechanischen und hydraulischen Bedingungen und den chemischen Einflüssen. Insbesondere ist die Wechselwirkung der damit zusammenhängenden Prozesse auch im Hinblick auf die modellmäßige Beschreibung zu betrachten. Die bestimmenden Parameter sind zu ermitteln.

Ferner spielt in diesem Wirtsgestein die mikrobielle Aktivität eine Rolle. Zum einen ist die thermische Belastung und die daraus folgende chemisch-physikalische Wirkung auf die organischen Bestandteile zu untersuchen und zum anderen sind die gefundenen mikrobiellen Spezies zu charakterisieren.

Diese Forschungsaspekte wurden im Verbundvorhaben „Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen“, welches in Kooperation zwischen zwei Helmholtz-Zentren und sechs Universitäten durchgeführt wird, aufgegriffen. Das Vorhaben berücksichtigt ebenfalls Prozesse im an das Nahfeld angeschlossenen Gebirgsbereich und berücksichtigt entsprechend Wechselwirkungsprozesse auch bei erhöhten Temperaturen. Spezifische Randbedingungen wie z.B. der Einfluss der Salinität in Tiefenwässern sind zu betrachten.

Da bezüglich potenzieller Tonsteininformationen 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. Mit den vorhandenen Methoden soll es zukünftig möglich sein, Tonsteininformationen in Deutschland hinsichtlich ihrer geochemischen Parameter vergleichend einzuordnen und die Prozesse einzuschätzen, welche die Actinidenspeziation und -migration, dominieren. Ermittelte Kenngrößen werden zu einer Erweiterung der für die Langzeitsicherheitsprognose benötigten thermodyna-

mischen und kinetischen Datenbasis beitragen (THEREDA). Die Forschungsarbeiten sollen eng an die Langzeitsicherheitsforschung angebunden werden.

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*

Von erheblicher Bedeutung sind immer noch Fragen zur Konzeption, zum Bau und zur Erprobung langzeitsicherer Abschlussbauwerke bzw. ihrer Komponenten. Ob eine Beteiligung an internationalen Großprojekten erfolgen soll, ist fallweise und themenbezogen zu entscheiden. Bezüglich dieser Fragestellungen zum Langzeitverhalten geotechnischer Abschlussbauwerke wurde das Verbundprojekt „Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren (UMB)“ initiiert. Ziel der Arbeiten ist die Entwicklung abgesicherter, objektiver Kriterien zur Auswahl geeigneter Bentonite für den Einsatz in Endlagern für Wärme entwickelnde Abfälle in Tonformationen. Teile der Ergebnisse sind auch für Schachtverschlüsse in einem Endlager in Salzformationen relevant, wo entsprechend der VSG Bentonite auch zum Einsatz kommen könnten.

### **3.3 FuE-Arbeiten zur Endlagerung im Wirtsgestein Granit (kristalline Gesteine)**

#### **Bisherige Arbeiten und Kenntnisstand**

Forschungsarbeiten deutscher Forschungsstellen zum Wirtsgestein Granit haben bereits in den 1980er Jahren im Felslabor Grimsel begonnen. Grundlage war ein bilaterales Abkommen zwischen BMFT und der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA). 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 (Laser Induced Breakdown Detection Spectroscopy) sowie Software-Werkzeuge (u.a. Grundwasserprogramm (damals ROCKFLOW)) entwickelt und getestet worden. Diese wissenschaftlichen Werkzeuge wurden auch in Arbeiten außerhalb der Aktivitäten im Felslabor Grimsel eingesetzt (u.a. im HRL Äspö).

Seit 1995 besteht zwischen der schwedischen Endlagerorganisation SKB und dem BMWi (vor 1998 BMBF) eine Vereinbarung über die Teilnahme an den FuE-Aktivitäten im Untertagelabor Äspö. Deutsche Forschungseinrichtungen beteiligten 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 waren 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.

Infolge der bisherigen Gewichtung der deutschen FuE-Aktivitäten auf die Wirtsgesteine Steinsalz und Tonstein wurde und wird nur eine begrenzte Anzahl kristallinrelevanter 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.

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

### *Wirtsgesteinseigenschaften*

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) erstellte bereits 1994 eine Studie zu kristallinen Gesteinen in Deutschland /BRÄ et al. 1994/

Detaillierte Untersuchungen wurden im FL Grimsel in der Phase V durchgeführt. /MAR 1999/. 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.

Ziel von Forschungsvorhaben, die im Rahmen der deutsch-russischen Kooperation für Standorte in der Region Krasnojarsk durchgeführt wurden /WAL et al. 2005/, war und ist 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. 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.

Weitere Forschungsaktivitäten befassen 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, wurden mittlerweile durchgeführt. 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 /MOL et al. 2009/. Die Arbeiten wurden ebenfalls auf die Identifizierung der mikrobiologischen Spezies in Opalinuston-Formationen im Rahmen der internationalen Kooperation im Untertagelabor Mont Terri (Schweiz) ausgeweitet.

Insbesondere die Untersuchungen zur Auswirkung mikrobieller Aktivität auf die Radionuklidmigration waren von Bedeutung. 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 /MOL et al. 2009/.

### *Geotechnische Barrieren*

Untersuchungen zu diesem Themenkomplex wurden vor allem im Zusammenhang mit den Arbeiten im Untertagelabor Äspö durchgeführt. Zu erwähnen sind hier insbesondere die Arbeiten im Zusammenhang mit den Projekten „Prototype Repository“ (Großmaßstäblicher Versuch auf der Basis des KBS-3-V-Konzeptes zur Untersuchung u.a. von Temperatur, Hydraulik Quellvermögen des Bentonits), „Temperature Buffer Test“ (Temperatureinfluss auf einen mit

Bentonit gefüllten Behälter), „LASGIT“ (Auswirkung der Gasentwicklung) sowie die Arbeiten zur Charakterisierung von Bentoniteigenschaften /SKB2012/. Wichtige Modellierungsarbeiten wurden in der EBS (Engineered Barrier System)-Task Force durchgeführt, in der u.a. das Auf-sättigungsverhalten von Bentonit im Rahmen von Benchmarks modelliert wurde.

#### *Radionuklidmigration*

Im Untertagelabor Äspö waren Untersuchungen zur Mobilität von Radionukliden, vor allem von Actiniden, in kristallinen Endlagersystemen ein Schwerpunkt deutscher FuE-Aktivitäten. In zwei Vorhaben wurden das Isolationspotenzial der geologischen Barriere und die Mobilität geogener Radionuklide während der geologischen Vergangenheit untersucht. Untersuchungen zur Uran- und Thoriummobilität wurden im Untertagelabor 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 zu ermitteln. Insgesamt bietet die geologische Barriere Granit ein großes chemisches Immobilisierungspotenzial für endlagerrelevante Elemente, sofern das Kristallingestein weitgehend ungeklüftet ist /JOH 2000/.

Diese Untersuchungen wurden auf Granite mit Mikroklüften aus dem Untertagelabor 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 im wasserführenden, geklüfteten 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.

#### **Laufende Arbeiten**

Deutsche Forschungsstellen beteiligten sich bisher an Untersuchungen im Rahmen der Experimentierphasen im Felslabor Grimsel (zurzeit Phase VI) und an den Arbeiten im Untertagelabor Äspö.

In dem aktuellen Vorhaben KOLLORADO-e soll in situ und im Labor ein verbessertes Verständnis der grundlegenden Mechanismen des kolloidgetragenen Radionuklidtransports unter naturnahen Bedingungen erzielt werden. Der experimentelle Teil der Arbeiten wird im Untertagelabor Grimsel in der Schweiz ausgeführt.

Die Teilnahme an Modellierungsarbeiten in den Task Forces „Groundwater Modelling“ und „Engineered Barrier System“ sowie an Arbeiten zu Bentonit erfolgt im Rahmen der Aktivitäten im HRL Äspö.

Diese Arbeiten liefern Beiträge zu dem Forschungsschwerpunkt „Geotechnisches Barriersystem“, um den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu verbessern, die Methoden und Modelle zu testen und sie für die sicherheitliche Betrachtung verfügbar zu machen. Damit können sie unterstützend bei der Behandlung ähnlicher Systeme in den für Deutschland bevorzugt in Betracht zu ziehenden Wirtsgesteinen angewandt werden.

### 3.4 Wirtsgesteinsübergreifende FuE-Arbeiten zur Endlagerung

Ergänzend zu den zuvor angeführten wirtsgesteinsspezifischen FuE-Aktivitäten werden Forschungsarbeiten durchgeführt, die für die zukünftige Errichtung eines Endlagers und insbesondere für die erforderlichen Sicherheitsnachweise von Bedeutung sind, ohne spezifisch auf ein Endlagersystem in einem bestimmten Wirtsgestein ausgerichtet zu sein.

Sicherheitsanalytische Arbeiten zum Migrationsverhalten von Radionukliden im Fernfeld eines potenziellen Endlagers in grundwasserleitenden Aquiferen können teilweise wirtsgesteinsübergreifend angelegt werden. Diese Aktivitäten umfassen Untersuchungen der chemischen, physikalischen und mikrobiologischen Effekte und Prozesse mit Auswirkung auf die Mobilität von Radionukliden und die Entwicklung von Modellen zur Beschreibung der ablaufenden Prozesse.

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 Radionuklidtransporte dreidimensional zu berechnen. Sie sind für poröse und auch klüftige Medien, auch unter Berücksichtigung z.B. des Wärmetransports oder freier Oberflächen, anwendbar. Die Programme  $d^{3f}$  und  $r^{3t}$  gehören derzeit zu den leistungsfähigsten Codes für diese Modellierungen /SCH 2012/.

Auch Rechenprogramme für Langzeitsicherheitsanalysen können für verschiedene Endlagertypen in Steinsalz, Ton- oder Kristallingestein eingesetzt werden. Neben den die Freisetzung der Radionuklide im Nahfeld behandelnden Modulen existieren weitere Module, welche den Transport durch das Fernfeld und die daraus folgende jährliche Strahlenexposition in der Biosphäre auf Grund verschiedener Expositionspfade beschreiben können.

Weitere typisch wirtsgesteinsübergreifende FuE-Arbeiten sind Untersuchungen zu konzeptionellen Entsorgungsoptionen ohne Wirtsgesteinsbezug oder konzeptionelle Arbeiten die übergreifend über alle in Betracht kommenden Wirtsgesteine angelegt sind.

Mit einer vom BMWi und BMBF gemeinsam beauftragten Studie zur Partitionierung und Transmutation (P&T) hoch radioaktiver Abfälle /BOL 2014/ wurden das Potenzial von P&T, der Stand von Wissenschaft und Technik sowie die Chancen und Risiken dieser Technologie detailliert herausgearbeitet. Außerdem wurde analysiert, welche Auswirkungen P&T auf die Entsorgungsstrategien für radioaktive Abfälle hat und welche Beiträge Deutschland zu einem europäischen P&T-Konzept leisten kann.

Im Rahmen des Vorhabens wurden die wissenschaftlichen und technologischen Aspekte von P&T sowie die soziowissenschaftlichen, ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkte berücksichtigt. Die auf der Studie beruhende Empfehlung der Akademie der technischen Wissenschaften (acatech) zielt im Wesentlichen auf eine Beteiligung an europäischen Forschungsprojekten in diesem Bereich. Verwandte Fragestellungen für ergänzende Forschung ergeben sich aus verlängerten Zwischenlagerzeiten und deren Wirkung auf das in das Endlager zu bringende Inventar und deren folgende Anforderungen an das Endlager.

#### Verlängerte Zwischenlagerzeiten

Bis zur Überführung in ein Endlager sollen in Deutschland die Wärme entwickelnden Abfälle weiterhin in speziell dafür ausgelegten Transport- und Lagerbehältern (TLB) oberirdisch trocken zwischengelagert werden. Da über das konkrete Endlagerkonzept und dessen Realisierung zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abschließend entschieden ist, kann der für die Zwischenlagerung benötigte Zeitraum derzeit nicht genau benannt werden. Es ist jedoch gegenüber der ursprünglichen Annahme - den bisherigen Zwischenlagereignissen liegt ein Zeitraum von 40 Jahren zu Grunde - von vermutlich verlängerten Zwischenlagerzeiten auszugehen.

Auch in anderen Staaten wird aufgrund von Verzögerungen bei der dortigen Endlagerbereitstellung zunehmend mit verlängerten Zwischenlagerzeiträumen gerechnet. Die dabei betrachteten notwendigen Betriebszeiten für Zwischenlager erstrecken sich in Abhängigkeit des Fortschritts der Endlagerprogramme auf Zeiträume von 50 Jahren oder noch deutlich darüber hinaus.<sup>1</sup>

Zu berücksichtigen ist ferner, dass die TLB nach der Zwischenlagerung über öffentliche Verkehrswege abzutransportieren sind. Hierzu sind die internationalen Anforderungen des IAEA-Regelwerks bzw. dessen nationale Umsetzung im Gefahrgutbeförderungsgesetz zu beachten, was nach heutigem Stand das Vorliegen einer Behälterbauartzulassung und den Nachweis des zulassungskonformen technischen Zustands für jeden einzelnen Behälter zum Zeitpunkt des Transportes erfordert. Offene sicherheitstechnische Fragestellungen der längerfristigen Zwischenlagerung und nachfolgender Transporte rücken demnach sowohl national als auch international zunehmend in den Fokus /OEC2013b/.

Wesentliche Aspekte hierbei sind Langzeitverhalten und Alterung der Behälter und des eingelagerten radioaktiven Abfalls. Aber auch sonstige Handhabungs- und Lagereinrichtungen einschließlich des Lagergebäudes sollten, soweit sicherheitstechnisch relevant, in die Betrachtungen einbezogen werden.

Im nationalen Zwischenlagerkonzept werden maßgebliche Sicherheitsfunktionen, wie der dichte und sichere Einschluss, die Strahlungsabschirmung und die Gewährleistung von Wärmeabfuhr und Unterkritikalität, durch den TLB sichergestellt. Entsprechend stellt die Untersuchung des Langzeitverhaltens von Werkstoffen und Komponenten der Behälter, wie z.B. der Dichtungen, der Einbauten oder des Neutronenmoderators, vor dem Hintergrund des Erhalts von Integrität und Funktion der TLB einen Schwerpunkt künftiger Arbeiten dar. In diesem Zusammenhang werden Untersuchungen von Alterungsprozessen und relevanten Schädigungsmechanismen sowie Arbeiten zur Weiterentwicklung geeigneter Analysemethoden zum Nachweis von Integrität und Funktionalität sowie zur Quantifizierung von Sicherheitsmargen als prioritär angesehen. Weiterführende FuE zu diesem Themengebiet schließt auch die Weiterentwicklung von Verfahren zur Zustandsüberwachung der TLB mit ein.

Auch hinsichtlich des Langzeitverhaltens des eingelagerten Abfalls besteht Forschungsbedarf, so beispielsweise hinsichtlich der Integrität bestrahlter Brennelemente während der verlängerten Zwischenlagerzeit. Für entsprechende Analysen von Brennelementen aus Leistungsreaktoren müssen sowohl verschiedene Brennstoffe (z.B. MOX, UO<sub>2</sub>) und Hüllrohrmaterialien (z.B. Zircaloy-2, Zircaloy-4 sowie die neueren Werkstoffe ZIRLO und M5) als auch ein unterschiedlicher Abbrand der bestrahlten Brennelemente betrachtet werden. Erste Arbeiten zu diesbezüglichen Fragestellungen sind im Rahmen der projektgeförderten Reaktorsicherheitsforschung des BMWi bereits angelaufen oder konkret geplant. Dies beinhaltet sowohl analytische Arbeiten bezüglich der Integrität der Hüllrohre als auch experimentelle Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Brennstäben im Trockenlager, die in der kommenden Periode des internationalen OECD-Halden Projektes (2015-2017) geplant sind. Diese Daten werden für weiterführende FuE zu diesem Themengebiet und die Weiterentwicklung bzw. die Validierung von geeigneten Analysewerkzeugen zur Verfügung stehen.

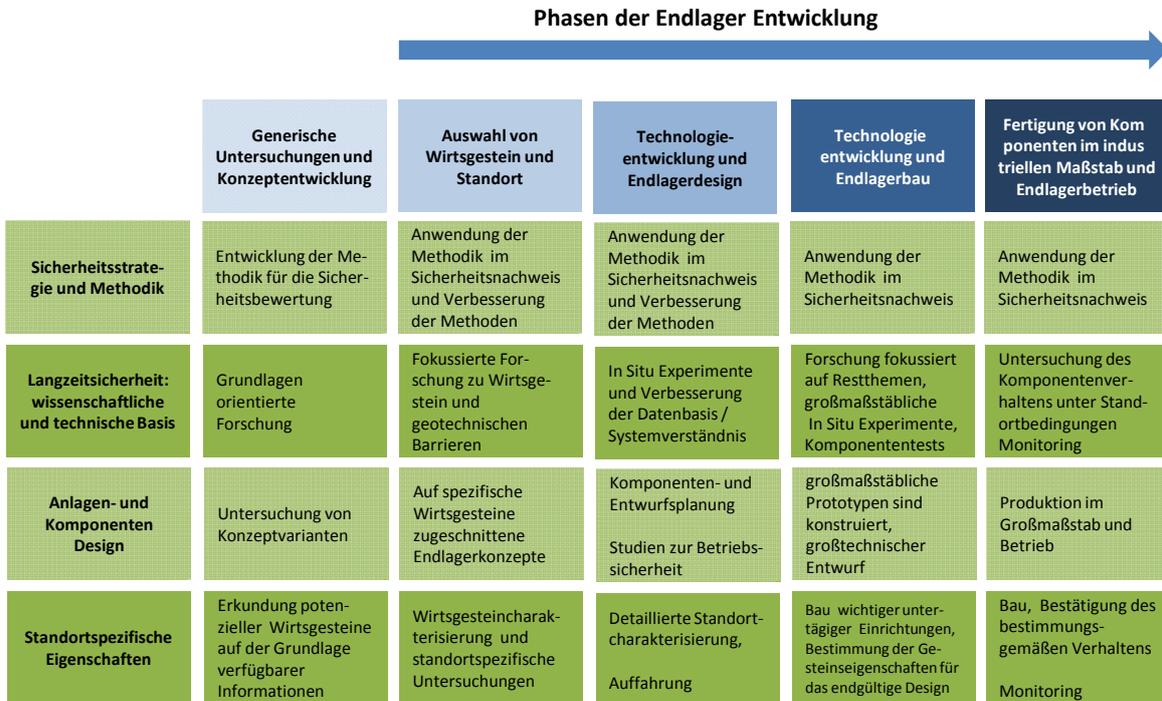
Identifizierte Alterungseffekte und Schädigungsmechanismen müssten ggf. in Sicherheitsanalysen für eine verlängerte Zwischenlagerung einfließen. Dabei sollen die Einflüsse verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Sicherheitsmargen sowie mögliche Auswirkungen bei Lastfällen (z. B. mechanische und thermische Störfallszenarien, Erdbeben oder Flugzeugabsturz) betrachtet und bestehende Unsicherheiten durch die Weiterentwicklung geeigneter Methoden und Analysewerkzeuge verringert werden.

---

<sup>1</sup> Beispiel Schweiz: Das Verfahren der Standortfindung eines Endlagers ist bis zum Jahr 2027 geplant und die Inbetriebnahme soll bis zum Jahr 2060 erfolgen.

#### 4. FuE-Strategie

Die notwendigen und angemessenen systematischen Schritte bis zur Implementierung eines Endlagers sind von der methodischen Seite her vorhanden und bekannt. Die grundsätzliche Struktur einer phasenweisen Methodik bis hin zur Implementierung zeigt die nachstehende Abb. 4 in Anlehnung an die Strategische Forschungsagenda der IGD-TP (/IGD 2011/).



**Abb. 3** Darstellung der allgemeinen Vorgehensweise und der Phasen im Zuge der Entwicklung eines Endlagers in Anlehnung an die Darstellung in der Strategic Research Agenda der IGD-TP aus dem Jahr 2011

Diese Vorgehensweise ist grundsätzlich für jedes strukturierte Endlagerprogramm anwendbar, unabhängig von der Festlegung auf ein spezifisches Wirtsgestein oder Endlagerkonzept und unabhängig von Nebeneinflüssen. Gleichzeitig ist sie offen für die Berücksichtigung von Sondereinflüssen, wie etwa verlängerten Zwischenlagerzeiten, oder möglichen politischen Vorgaben, die sich auf Behandlung, Lagerung und Endlagerung auswirken.

Die als erforderlich angesehenen FuE-Aktivitäten, d.h. der noch bestehende FuE-Bedarf, orientieren sich weitgehend daran und es ist für die jeweilige Phase der Implementierung zu beurteilen, wie fortgeschritten ein Projekt bzw. der Wissensstand ist, welche Art und welcher Umfang an FuE als noch notwendig oder wünschenswert angesehen wird und welche zeitlich-fachlichen Prioritäten zu setzen sind.

Da das Förderkonzept des BMWi mit seinen FuE-Aktivitäten die anwendungsbezogene, standortunabhängige Grundlagenforschung und somit mehrere Phasen des Entwicklungsvorganges adressiert, sind sowohl für generische Studien und die Phase der Konzeptentwicklung als auch für die Grundlagen der Standortwahl und die technologische Entwicklung von Endlagersystemen, Fragen hinsichtlich des erreichten Standes und der noch offenen Fragen zu beantworten.

#### 4.1 Ziele der BMWi-Projektförderung

Die drei Zielsetzungen der Bundesregierung bei der Förderung von Forschung und Entwicklung von Energietechnologien sind im 6. Energieforschungsprogramm (dort Kap. 1.3) wie folgt beschrieben:

- „Das erste und wichtigste Ziel der Energieforschungspolitik ist es, einen Beitrag zur Erfüllung der zahlreichen energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Vorgaben der Bundesregierung zu leisten. ...“,
- „Das zweite Ziel der Energieforschungspolitik ist es, die führende Position deutscher Unternehmen auf dem Gebiet moderner Energietechnologien auszubauen. ...“,
- „Das dritte Ziel der Energieforschungspolitik ist es, technologische Optionen zu sichern und zu erweitern. Das hilft, die Flexibilität der Energieversorgung Deutschlands zu verbessern. Der grundsätzliche Zugriff auf viele Optionen gibt Wirtschaft und Verbrauchern noch am ehesten die Möglichkeit, sich an Veränderungen und Neubewertungen anzupassen. ...“.

Im Vorwort des 6. Energieforschungsprogramm ist zu lesen: *„Das 6. Energieforschungsprogramm benennt die Leitlinien für die künftige Förderung des Bundes von Forschung und Entwicklung im Energiebereich, ....“*.

Die Leitlinien des Energieforschungsprogramms umreißen somit die grundsätzlichen programmatischen, forschungspolitisch umzusetzenden Ziele. Diese werden im Detail in den jeweiligen Förderkonzepten der Bundesressorts erläutert und umgesetzt. Nicht zuletzt wird mit dieser Umsetzung auch den wesentlichen Herausforderungen, die die nukleare Entsorgung bestimmen, und den zu erarbeitenden Lösungen Rechnung getragen. Lösungen sind einerseits durch die Erarbeitung der wissenschaftlich-technisch-sozialwissenschaftlichen Wissensgrundlagen zu finden, und sind andererseits zu untersetzen durch kompetenzerhaltende Aus- und Weiterbildung.

Im 6. Energieforschungsprogramm wird zudem ausgeführt, dass *„für den Betrieb, die Stilllegung und die Entsorgung von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren ... ebenso wie für die Endlagerung der radioaktiven Abfälle und der Brennelemente höchste Sicherheitsanforderungen“* gelten. *„Maßgeblich ist nicht nur der Stand der Technik, sondern nach § 7d Atomgesetz der „fortschreitende Stand von Wissenschaft und Technik“. Damit weist der Gesetzgeber der nuklearen Sicherheitsforschung eine herausragende Rolle zu. Denn fortschreiten kann der Stand von Wissenschaft und Technik nur durch die Ergebnisse beharrlicher Anstrengungen bei Forschung und Entwicklung“*. Der FuE kommt somit die Aufgabe zu, den Stand von Wissenschaft und Technik kontinuierlich zu verbessern und fortzuschreiben.

Zur nuklearen Entsorgungsforschung hat sich die Bundesregierung auch im Koalitionsvertrag vom 16. Dezember 2013 eindeutig geäußert: *„Die Koalition wird die Nuklearforschung auf wichtige Zukunftsthemen fokussieren. Durch die institutionell und projektgeförderte nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung werden wir einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Sicherheit im In- und Ausland, zur Lösung nuklearer Entsorgungsfragen und zum Kompetenzerhalt in Deutschland leisten, der besonders auch für die internationale Zusammenarbeit erforderlich ist. Wir werden nach dem Neubeginn der Endlagersuche die Endlagerforschung verstärken.“*

## 4.2 Strategische Forschungsziele

Das BMWi versteht als Hauptziele der Forschungsförderung auf dem Gebiet der Entsorgung Wärme entwickelnder und langlebiger radioaktiver Abfälle:

- die **Schaffung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen** zur Realisierung eines Endlagers für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle (abgebrannte Brennelemente aus Leistungsreaktoren, verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung) sowie weitere Abfälle die in ein derartiges Endlager verbracht werden sollen,
- die **Entwicklung erforderlicher Methoden und Techniken** für spezifische Maßnahmen zur Vorbereitung der Endlagerung sowie für Konzeption, Errichtung, Betrieb und Stilllegung eines Endlagers, verbunden mit der **kontinuierlichen Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik**,
- die **Bereitstellung von Expertise und Wissen** und damit eines substanziellen Beitrags zu Aufbau, Weiterentwicklung und Erhalt der **wissenschaftlich-technischen Kompetenz** und zur **Nachwuchsförderung** im Bereich der nuklearen Entsorgung in Deutschland.

Bereits seit langem arbeiten deutsche Forschungsstellen zu den wissenschaftlich-technischen Grundlagen für die Endlagerung in den unterschiedlichen Wirtsgesteinen (vgl. dazu auch Kapitel 3.). Die Ressourcenverteilung, die inhaltliche Ausrichtung der Forschungstätigkeiten, die Festlegung von FuE-Schwerpunkten und die Priorisierung der Arbeiten erfolgt unter Berücksichtigung der jeweiligen forschungspolitischen Randbedingungen sowie der verfügbaren Ressourcen. Geänderte forschungspolitische Randbedingungen können eine Modifizierung der Forschungsschwerpunkte nach sich ziehen. Derartige grundlegende Änderungen der Forschungsschwerpunkte erfordern ein kontinuierliches und sorgfältiges FuE-Management.

In der aktuellen Phase verfolgt das BMWi unter Berücksichtigung der forschungspolitischen Randbedingungen und der verfügbaren Ressourcen folgende Strategie:

I. Der derzeit identifizierte FuE-Bedarf zur Endlagerung im Steinsalz (Salzstöcke) sowie die Klärung konzeptioneller Fragen zur Endlagerung im Steinsalz der flachen Lagerung sollen weiter bearbeitet werden. Hier ist die Fortsetzung der Kooperation mit den USA von besonderem Wert, weil in den USA große Erfahrung aufgrund der langjährigen Arbeiten zur WIPP besteht.

II. Parallel ist die FuE zur Endlagerung in Tonstein konsequent auszubauen und zu verstärken, um das Instrumentarium für Systemanalysen innerhalb der Laufzeit des Förderkonzeptes zu vervollständigen. Diese Ergebnisse stellen die Grundlage für die Realisierung von Systemanalysen von Endlagerkonzepten in Tonstein dar, wobei u.a. auf konzeptionell ausgerichtete FuE-Vorhaben aufzubauen ist. Auch zukünftig sollen die Synergieeffekte aus bestehenden internationalen Kooperationen genutzt werden um kostengünstig Wissen zur Endlagerung in Tonstein auf- und auszubauen.

III. Die FuE zur Endlagerung in kristallinen Gesteinen wird sich auf die Klärung der grundsätzlichen, wissenschaftlichen Fragestellung, welchen Stellenwert kristalline Wirtsgesteine unter den spezifisch deutschen Randbedingungen haben können, konzentrieren. Ein wesentliches strategisches Ziel stellt somit die Erarbeitung eines Sachstandsberichtes zur Endlagerung in kristallinen Gesteinen unter Berücksichtigung internationaler Endlager-Konzepte, der konkreten deutschen geologischen Randbedingungen und der Sicherheitsanforderungen (einschl. Rückholung) dar. Dabei soll auch eine wissenschaftliche Bewertung der Konsequenzen bei der Übertragung der Hauptsicherheitsfunktion von der geologischen auf die technischen Barrieren erfolgen. Bezüglich des internationalen Engagements gilt das zuvor genannte.

Aufgrund der Komplexität eines Endlagersystems und aller damit zusammenhängender Entsorgungsfragen ist eine langfristig angelegte, inter- bzw. multidisziplinäre Vorgehensweise bei der Bearbeitung von FuE-Maßnahmen zielführend.

Langfristig und vor dem Hintergrund der Zeitspanne bis zur Realisierung eines Endlagerprojektes gesehen ist dabei in Deutschland auch eine konsequente und nachhaltige Nachwuchsförderung von höchster Bedeutung, um den Kompetenzerhalt auf den erforderlichen disziplinären Feldern sicherzustellen. Dabei kommt der Förderung der Hochschulforschung ein besonderer Stellenwert zu, durch die eine gezielte Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in spezifischen Wissensgebieten erfolgen kann. Nicht zuletzt wegen der ungewöhnlich langen Projektdauer des Endlagerprojektes ist eine längerfristige Strategie zu erarbeiten.

Vor diesem Hintergrund ist es auch unabdingbar, optimierte Methoden und Instrumente des Wissenstransfers und des Wissens-Managements zu entwickeln und damit den Wissenserhalt über lange Zeiträume sicherzustellen.

In Anlehnung an das 6. Energieforschungs-Programm und die strategische Forschungsagenda der Implementing Geological Disposal Technology Platform (IGD-TP) sollen folgende Forschungsziele der Entsorgungsforschung im Rahmen dieses Förderkonzeptes umgesetzt werden:

- Fortschreibung der Instrumente und Methodik für den Sicherheitsnachweis (Safety Case),
- methodische Entwicklungen zur Charakterisierung der regionalgeologischen Verhältnisse,
- Untersuchungen zum Systemverhalten und Entwicklung oder Verbesserung der Systembeschreibung, einschließlich großmaßstäblicher Demonstrationsversuche,
- Untersuchungen zur technischen Machbarkeit und zum Langzeitverhalten von Endlagerkomponenten, einschließlich Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abfällen und Behältern unter zwischenlagerspezifischen Beanspruchungsbedingungen,
- Maßnahmen zur Gewährleistung der Betriebssicherheit und zum Monitoring des Endlagersystems und seines Umfelds,
- Governance und Einbindung von interessierter Öffentlichkeit und Politik, Begleitung durch sozialwissenschaftlich-geisteswissenschaftliche Forschung,
- Beteiligung an internationalen Aktivitäten zur Verminderung oder Vermeidung radioaktiver Abfälle mittels Partitionierung und Transmutation,
- Weiterentwicklung und konzeptionelle Anpassungen von Ansätzen zur Kernmaterialüberwachung (Safeguards).

Diese Zielsetzungen werden in den im Förderkonzept aufgeführten FuE-Maßnahmen im Kapitel 5 gespiegelt und sollen durch FuE-Projekte/Aktivitäten umgesetzt werden.

#### **4.3 FuE-Bedarf**

Den bisherigen und auch zukünftigen Endlagerkonzepten wurde und wird das Verständnis zu Grunde gelegt, dass Endlager nicht als Einzelstruktur aufzufassen sind, sondern, wie es der Systembegriff nahelegt, (Zitat aus den Sicherheitsanforderungen des BMU /BMU 2010/) „*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.*“

Folglich werden auch weiterhin das Endlager mit seinen Teilsystemen sowie der Endlagertechnik (FuE-Bereich 3) und der Sicherheitsnachweis für das Endlagersystem (FuE-Bereich 4) im Fokus der FuE-Aktivitäten stehen.

Den Arbeiten zu den Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf das Verhalten der Abfälle und Behälter (FuE-Bereich 1) und zu den wissenschaftlichen und methodischen Grundlagen der Standortauswahl (FuE-Bereich 2) wird, wie den unter Wissensmanagement und sozio-technischen Fragestellungen (FuE-Bereich 5) aufgenommenen Themen, ein höherer Stellenwert als in der im Jahre 2014 abgeschlossenen Phase des Förderkonzeptes beigemessen.

Besonders zu den Prozessen der verlängerten Zwischenlagerzeiten und der Standortsuche und -auswahl sind bei Berücksichtigung einer breiten Palette optionaler Wirtsmedien wissenschaftliche oder technische Fragestellungen zu bearbeiten, die grundlegende FuE-Aktivitäten darstellen und als anwendungsbezogene Grundlagenforschung angesehen werden. Dazu wäre auch eine verstärkte Behandlung sozio-technischer Aspekte zur nuklearen Entsorgung in einer weitaus breiteren Form als bislang zu zählen. Die sozialwissenschaftlichen Aspekte sollten dabei in der Regel im Kontext mit natur- oder ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen bearbeitet werden. Dies wurde z.B. in der durch das BMWi und das BMBF geförderten Studie zu Chancen und Risiken von Partitionierung und Transmutation hochradioaktiver Abfälle praktiziert (BMW-Förderkennzeichen 02E11172).

#### **4.4 Umsetzung**

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 Sicherheitsnachweis geschaffen wird, der letztlich auf einer Zusammenschau aller Ergebnisse und auf einem umfassenden Systemverständnis basiert.

Aufgrund der positiven Erfahrungen hinsichtlich Effizienz und Mitteleinsatz sowie wegen der fachlichen Erfordernisse zur interdisziplinären Zusammenarbeit wird diese Option auch zukünftig verstärkt eingesetzt werden.

Die Entwicklung neuer oder optimierter Referenzkonzepte für Endlagerbergwerke in den in Betracht zu ziehenden Wirtsgesteinen wird bevorzugt realisiert. Wissenschaftliche Fragestellungen, die sich durch verlängerte Zwischenlagerzeiten und deren Auswirkungen auf Abfälle und Behälter ergeben, werden ebenfalls mit hoher Priorität bearbeitet.

Untersuchungen zu Varianten solcher Endlagerbergwerks-Konzepte im Sinne lediglich angepasster Systeme sowie FuE-Arbeiten zur oberflächennahen Langfrist-Lagerung haben dagegen niedrigere Priorität.

Ergänzend können bislang nicht berücksichtigte Optionen zur Endlagerung oder zur langzeit-sicheren Entsorgung radioaktiver Abfälle behandelt werden.

Die noch erforderlichen wissenschaftlichen Arbeiten mit Bezug zur Endlagerung im Wirtsgestein Steinsalz müssen ziel- und ergebnisorientiert durchgeführt werden. Bezüglich flach lagernder Salze sind die geologischen und sicherheitstechnischen Verhältnisse einer sorgfältigen Überprüfung zu unterziehen und entsprechend adaptierte konzeptionelle Untersuchungen durchzuführen.

Mit dieser Vorgehensweise wird der in Deutschland sehr weit fortgeschrittene Kenntnisstand zur Endlagerung im Steinsalz - zuletzt dokumentiert im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) - unter Berücksichtigung des dort identifizierten FuE-Bedarfs vervollständigt.

Die Arbeiten zur Endlagerung in Tongesteinen und in kristallinen Gesteinen werden auf der Grundlage der national verfügbaren Kenntnisse und Kapazitäten fortgesetzt und verstärkt, um nach Möglichkeit den Kenntnisstand deutlich zu erweitern. Aufgrund der fehlenden Möglichkeiten in Deutschland FuE in Untertagelaboratorien (URL) zu realisieren, wird dazu verstärkt auf die Möglichkeiten der internationalen Zusammenarbeit und der Mitarbeit in ausländischen URL zurückgegriffen werden müssen (Tonstein: Mont Terri / Schweiz, Bure / Frankreich; Granit: Felslabor Grimsel / Schweiz, HRL Äspö / Schweden, Krasnojarsk / Russland).

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.

Die Arbeiten zur Endlagerung in kristallinen Gesteinen werden aufgrund nationaler Vorarbeiten z. B. im Rahmen des Vorhabens „GEISHA“ und unter Berücksichtigung international fortgeschrittener FuE-Aktivitäten und Programme insbesondere in den skandinavischen Ländern geprüft, bewertet und ggf. in FuE-Projekten umgesetzt.

## 5. FuE-Inhalte

In diesem Kapitel erfolgt eine Übersicht über konkrete FuE-Themen, die in den aufgeführten FuE-Bereichen und FuE-Feldern bearbeitet werden sollen.

Die sechs **FuE-Bereiche**, als Schlüsselthemen und erste Gliederungsebene der FuE-Maßnahmen, spannen den Bogen von abfall- und zwischenlagerbezogenen Aktivitäten über methodische Fragen der Auswahl, des Konzeptes und des Sicherheitsnachweises für Endlager bis hin zu Maßnahmen der Kernmaterialüberwachung.

Die **FuE-Felder** als zweite Gliederungsebene differenzieren und strukturieren die FuE-Bereiche. Die **FuE-Themen**, als höchste Detaillierungsstufe, stellen übergreifende Vorschläge zur Formulierung möglicher FuE-Vorhaben dar.

### **FuE-Bereich 1: Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter**

*Vor dem Hintergrund der aus heutiger Sicht vermutlich verlängerten Zwischenlagerung Wärme entwickelnder Abfälle bis zur Bereitstellung eines Endlagers, fördert das BMWi die Schaffung bzw. die kontinuierliche Weiterentwicklung wissenschaftlicher Grundlagen zur Bewertung des Langzeitverhaltens von Behältern und Abfällen unter lagerspezifischen Beanspruchungsbedingungen und bei nachfolgenden Transporten im Vorfeld der Endlagerung. So soll zur Erhöhung der Sicherheit während der verlängerten Zwischenlagerung und nachfolgender Transporte sowie zur Erweiterung des Kenntnisstandes zum Zustand der Abfälle und Behälter im Vorfeld der Endlagerung beigetragen werden. Im Fokus stehen die Untersuchung von Alterungseffekten und Schädigungsmechanismen sowie die Bereitstellung entsprechend angepasster Analyse- und Bewertungsmethoden. Auch FuE Aktivitäten zur Bereitstellung von Methoden zur kontinuierlichen Zustandsüberwachung werden gefördert. Zusätzlich können Arbeiten zum Umgang mit beschädigten Brennelementen, zur Rekonditionierung der Abfälle oder Beiträge zur Weiterentwicklung des Alterungsmanagements Gegenstand der Förderung sein.*

**(von PT-GRS fachlich/administrativ betreut)**

#### *FuE-Feld 1.1 Abfälle*

- Langzeitverhalten zwischengelagerter Abfälle bei deutlich längerer Zwischenlagerung (z.B. Integrität bestrahlter Brennelemente)
- Rekonditionierung (z.B. bezüglich beschädigter Brennelemente)

#### *FuE-Feld 1.2 Behälter*

- Auswirkung verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Transport- und Lagerbehälter (z. B. Integrität und Dichtheit der Behälter, Überwachung des Behälterzustandes, Handhabbarkeit, Transportfähigkeit)

#### *FuE-Feld 1.3 Gesamtsystem Zwischenlager*

- Methodik des Alterungsmanagements und Entwicklung von Verfahren zum Monitoring während verlängerter Zwischenlagerzeiten
- Störfall-/Sicherheitsanalysen

### **FuE-Bereich 2: Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl**

*Das BMWi fördert die Erarbeitung bzw. die fortlaufende Verbesserung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Auswahl von Endlagerstandorten. Dazu zählen innovative Methoden der Standorterkundung sowie Verfahren und Methoden zur Charakterisierung des an potenziellen Standorten vorzufindenden Geosystems. Auch grundlegende methodische Arbeiten zur Schaffung der wissenschaftlichen Basis eines Standortvergleichs können gefördert werden.*

*Der eigentliche Standortvergleich und die Standortauswahl liegen nicht im Zuständigkeitsbereich des BMWi; somit erfolgt keine Förderung von Aktivitäten mit unmittelbarem Bezug zu diesen standortbezogenen Verfahren.*

#### *FuE-Feld 2.1 Erkundungsmethoden*

- Geologisch-mineralogische Methoden zur Standorterkundung
- Geophysikalische Methoden zur Standorterkundung

### *FuE-Feld 2.2 Charakterisierung des Geosystems*

- Weiterentwicklung der Verfahren der Wirtsgesteinscharakterisierung
- Verbesserung / Weiterentwicklung der Methoden der Genesemodelle

### *FuE-Feld 2.3 Methodische Grundlagen eines Standortvergleichs*

- Überprüfung vorliegender Kriterien und Erarbeitung der Grundlagen zur Definition weiterer Kriterien für die Standortsuche
- Wissenschaftliche und methodische Grundlagen für den Vergleich von Endlagersystemen

## **FuE-Bereich 3: Endlagerkonzepte und Endlagertechnik**

*Die Förderung von Arbeiten zu Endlagerkonzepten und Endlagertechniken umfasst konzeptionelle und methodische FuE bis hin zur Entwicklung von Endlagerreferenzkonzepten in den drei für Deutschland relevanten Wirtsgesteinstypen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein unter Berücksichtigung der jeweils erforderlichen Bergtechnik, Bautechnik und der spezifischen Abfall- und Behälterkonzepte.*

*Die Untersuchungen zur Endlagertechnik werden fallweise über Analogie- oder Machbarkeitsbetrachtungen hinausgehen und auch die Entwicklung und Erprobung von technischer Ausstattung umfassen.*

*Geotechnische Barrieren sind bis zur Ausführungsreife zu entwickeln und in geeigneten Demonstrationsversuchen hinsichtlich des geforderten Funktionalitätszeitraums zu untersuchen. Der Funktionalitätsnachweis geotechnischer Barrieren ist in solchen Versuchen zu erbringen.*

*Beim Monitoring liegt das Augenmerk auf Entwicklung und Erprobung während der Betriebsphase störungs- und ausfallfrei arbeitender Überwachungs- und Messtechnik sowie der Entwicklung von Konzepten für eine intelligente und zuverlässig betreibbare Standortüberwachung in der Nachbetriebsphase.*

### *FuE-Feld 3.1 Endlagerkonzepte*

- Entwicklung von Referenzkonzepten für Endlagerbergwerke in den drei Wirtsgesteinstypen Steinsalz, Tonstein, Kristallingestein inkl. Berg- und Bautechnik (Ausbau etc.) unter Berücksichtigung der Themen Rückholbarkeit, Pilotendlager und Wirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten
- Alternative Entsorgungskonzepte zur Direkten Endlagerung

### *FuE-Feld 3.2 Endlagertechnik*

- Transport- und Handhabungstechnik
- Einlagerungs- und Rückholungstechnik
- Verfüll- und Verschlussstechnik
- Betriebliche Sicherheitstechnik

### *FuE-Feld 3.3 Geotechnische Barrieren*

- Konzept, Planung und Funktionszeitraum
- Technische Realisierbarkeit
- Material und Komponenten

### *FuE-Feld 3.4 Monitoring*

- Betriebliche Überwachung / Messtechnik
- Konzepte der nachbetrieblichen Standortüberwachung

### *FuE-Feld 3.5 Demonstrationsversuche*

- Realisierung großmaßstäblicher Demonstrationsversuche zum Transport und zur Handhabung von Endlagerbehältern
- Demonstrationsversuche zur Rückholung / Rückholbarkeit und zu geotechnischen Barrieren

#### **FuE-Bereich 4: Sicherheitsnachweis**

*Die Förderung wissenschaftlicher Arbeiten zur Entwicklung des Instrumentariums zum Sicherheitsnachweis umfasst alle nicht auf ein konkretes Endlagerprojekt bzw. einen Endlagerstandort ausgerichteten, grundlegenden Arbeiten, die für die Realisierung eines Sicherheitsnachweises erforderlich sind. Dazu sind experimentelle Arbeiten zur Untersuchung sicherheitsrelevanter Phänomene und Prozesse zu zählen, die im Endlagersystem auftreten können. Auf Basis dieser Erkenntnisse können prozessbeschreibende Modelle entwickelt und „process level codes“ bereitgestellt und qualifiziert werden. Die Methodik zur Führung von Sicherheitsnachweisen ist ständig dem fortschreitenden Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen, wobei die Wechselwirkungen von betriebssicherheitlichen und Langzeitsicherheitsaspekten angemessen zu berücksichtigen sind. Die Methoden und Rechenprogramme für Sicherheitsanalysen sind ebenfalls fortlaufend an den fortschreitenden Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen. Soweit zielführend ist die Befassung mit natürlichen oder anthropogenen Analoga vorzusehen*

*Die Realisierung konkreter Vorbereitungen für Sicherheitsanalysen für Endlagerprojekte und standortbezogene Arbeiten liegen dabei nicht im Aufgabenbereich des BMWi.*

##### ***FuE-Feld 4.1 Phänomene, Prozesse und Modelle***

- Weiterentwicklung des Verständnisses zu den im Endlagersystem und der Biosphäre ablaufenden Prozessen
- Entwicklung prozessbeschreibender Modelle und von process level codes (Skaleneinfluss - upscaling) sowie deren Qualifizierung

##### ***FuE-Feld 4.2 Methodische Grundlagen der Nachweisführung***

- Entwicklung von Sicherheitsnachweiskonzepten für Endlager
- Methodik der Szenarienentwicklung
- Methodik zum Umgang mit Ungewissheiten
- Indikatoren
- Methoden zur Festlegung und Charakterisierung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs
- Methoden zur Bewertung der Wechselwirkung von Betriebssicherheit und Langzeitsicherheit

##### ***FuE-Feld 4.3 Systemanalysen und Werkzeuge der Sicherheitsanalysen***

- Weiterentwicklung und Aktualisierung der Methoden und Rechenprogramme für Sicherheitsanalysen der Betriebsphase
- Weiterentwicklung und Aktualisierung der Methoden und Rechenprogramme für Langzeitsicherheitsanalysen
- Orientierende Systemanalysen für Endlager in unterschiedlichen Wirtsgesteinen

##### ***FuE-Feld 4.4 Unterstützende Elemente für den Sicherheitsnachweis***

- Natürliche und anthropogene Analoga

#### **FuE-Bereich 5: Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen**

*Die lange Zeitspanne bis zur Realisierung des Endlagerprojektes wirft Fragen hinsichtlich der erforderlichen Methoden und Instrumente des Wissensmanagements auf. Das langfristige Erhalten von Daten und Wissen, von fachlich qualifiziertem Personal sowie von geeigneten Methoden des Wissenstransfers sind bereit zu stellen. Auch sozio-technische Fragestellungen spielen bei Projekten der nuklearen Entsorgung eine bedeutende Rolle. Dazu sind geeignete Methoden und Verfahren für die Lösung gesellschaftlicher Konflikte, für den Kompetenzerhalt und die Einbeziehung betroffener Menschen (Partizipation) sowie die Kommunikation komplexer Sachverhalte zu prüfen und anzupassen oder ggf. zu entwickeln.*

*Die konkrete Vorbereitung und Durchführung von standort- oder projektbezogenen Verfahren ist nicht Gegenstand der Projektförderung des BMWi.*

##### ***Feld 5.1 Methoden und Instrumente des Wissensmanagements und des Wissenstransfers***

- Konzepte und Methoden zu Daten-Wissensmanagement
- Erhaltung (technische) von Daten, Wissen und Kenntnissen über Generationen

## *Feld 5.2 Sozio-technische Fragestellungen*

- Methodik der Behandlung sozio-technischer Fragestellungen

### **FuE-Bereich 6: Kernmaterialüberwachung (Safeguards)**

*Die Kernmaterialüberwachung für spezifische Endlagerkonzepte aber auch für die Lagerung sind unter Berücksichtigung verlängerter Zwischenlagerzeiten und Optionen wie der Rückholung zu betrachten. Diese Arbeiten sind unter Berücksichtigung der konzeptionellen FuE möglichst für alle denkbaren Endlageroptionen zu realisieren. Dabei sind konzeptionelle Besonderheiten und Aspekte wie das Thema Rückholbarkeit zu berücksichtigen.*

#### *FuE-Feld 6.1 Konzepte zur Kernmaterialüberwachung*

- Safeguards-Konzepte für verlängerte Zwischenlagerzeiten
- Safeguards-Konzepte für unterschiedliche Endlagerkonzepte
- Auswirkungen von Safeguardsmaßnahmen auf Betrieb und Langzeitsicherheit eines Endlagers

#### *FuE-Feld 6.2 Methoden und Techniken zur Kernmaterialüberwachung*

- Einschluss und Überwachung
- Methoden zur Überprüfbarkeit der Grubengebäude (Design Information Verification bzw. Überprüfung der grundlegenden technischen Merkmale)
- Methoden zur Entdeckung von unabhängigen Bergbauaktivitäten und Hohlräumen (z.B. Umweltüberwachung, geophysikalische Messverfahren, Satellitenerkundung)

## 6. Literatur

- /AKE 2002/ Auswahlverfahren für Endlagerstandorte – Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte, Köln, Dezember 2002
- /ALT et al. 2011/ **Altmaier M., Brendler V., Bube C., Marquardt C., 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
- /BEC 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
- /BEC 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 02E9844
- /BGR 2007/ Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland, Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinsformationen, BGR,Hannover/Berlin 2007
- /BGR 2014/ Der tiefere geologische Untergrund von Deutschland, Kurzübersicht über Verteilung und Dichte geowissenschaftlicher Daten und Informationen, Vorlage für die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe,BGR, Hannover, Oktober 2014
- /BfS 2005/ Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Wirtsgesteine im Vergleich. Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenschutz, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 2005
- /BOL 1999/ **Bollingerfehr, W. (1999)**, Forschungsvorhaben „Dammbau im Salzgebirge“, 1999
- /BOL 2014/ **Bollingerfehr, W., Buhmann, D., Filbert, W., Mönig, J. (2014)** Auswirkungen von Partitionierung und Transmutation auf Endlagerkonzepte und Langzeitsicherheit von Endlagern für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle, GRS-318
- /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](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/sicherheitsanforderungen_endlagerung_bf.pdf)
- /BRÄ et al. 1994/ **Bräuer V., Reh M., Schulz P., Sprado K.-H. (1994)** Endlagerung stark Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von von Regionen in nichtsalinaren Formationen. – Report der Bundesanstalt für Geowissenschaften and Rohstoffe, Hannover/Berlin. 1994
- /BRA 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

- /BRÜ 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
- /BUN 2000/ „Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vom 14.06.2000“, <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/atomkonsens.pdf>
- /CAD 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)
- /CLO 1980/ **Closs K.D. (1980)** Vergleich der verschiedenen Entsorgungsalternativen und Beurteilung ihrer Realisierbarkeit. Studie 'Entsorgungsalternativen'. Kernforschungszentrum Karlsruhe. KfK-3000, Karlsruhe
- /DAE 2014/ Aspekte eines Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle - Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung 2014
- /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](http://www.ptka.kit.edu/downloads/BMWi_SicherheitsEndlagerforschung_053681.pdf)
- /FEI et al. 2008/ **Fein E., Kröhn K.P. (2008)** Modelling of Field-Scale Pollutant Transport, Final Report, GRS-231
- /FIL 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
- /FIS et al. 2013/ **Fischer-Appelt K., Baltés B., Buhmann D., Larue J., Mönig J. (2013)** Synthesebericht für die VSG; GRS-290; Bericht zum Arbeitspaket 13, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben
- /GRS 2011/ Workshop „Verschlussysteme in Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle in Salzformationen“, Workshop veranstaltet durch PTKA und GRS, 2010, GRS-267
- /HAM 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, Synthesebericht BMBF-Projekt, FKZ 02C1577-02C1617
- /HER et al. 2011/ **Herbert H.-J., Kasbohm J., Lan N.T., Thao H.T.M., Xie M. (2011)** Fe-Bentonite – Experiments and Modelling of the Interactions of Bentonites with Iron, Final Report, GRS-295

- /HIR et al.1991/ **Hirsehorn 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
- /HOT 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
- /IAEA 2011/ Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, IAEA, Vienna, 2011
- /IGD 2011/ Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform - Strategic Research Agenda, European Commission, Directorate-General for Research Euratom, ISBN 978-91-979786-0-6, 2011
- /JOH 2000/ **Johannes K. (2000)** Das Rückhaltevermögen alterierter Granite für endlagerrelevante Seltene Erden. Naturbeobachtungen und Experimente. - Berichte aus der Geowissenschaft D 104, Dissertation Universität Clausthal, 2000
- /KAM 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
- /KES 1998/ **Kessler G. (1998)** German Direct Disposal Project Special, Nuclear Technology, Vol. 121, no. 2, February 1998
- /KIE 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
- /KOC et al. 1995/ **Kockel, F., Krull, P. (1995)** Endlagerung stark Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Salzformationen. Report der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover/Berlin, 1995
- /KOL 1993/ **Kolditz H. (1993)** Herstellung tiefer Großbohrlöcher zur Endlagerung umweltgefährdender Abfallstoffe im Salz, Glückauf 129, 2, Feb. 1993
- /KRÖ et al. 2009/ **Kröhn K-P., Stührenberg D., Herklotz M., Heemann U., Lerch Ch., Xie M. (2009)** Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz, REPO-PERM - Phase I, Schlussbericht, GRS-254, ISBN 978-3-939355-29-8
- /KRO et al. 2008/ **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
- /MAR 1999/ **Marschall P., Fein E., Kull H., Lanyon W., Liedtke L., Müller-Lyda I., Shao H. (1999)** Conclusions of the Tunnel Near-Field Programme (CTN), Grimsel Test Site Phase V (1997 – 2002), September 1999, Wettingen, Schweiz

- /MAR 1998/ **Marx G. (1998)** Bestimmung von Löslichkeitsprodukten endlagerrelevanter Elemente in gesättigten Salzlösungen in Gegenwart von Hydroxylapatit, Abschlussbericht zum BMBF-Projekt FKZ 02E8030
- /MAR 2000/ **Marquardt C. (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
- /MAR 2008/ **Marquardt C. (Hrsg.) (2008)** Migration of Actinides in the System Clay, Humic Substances, Aquifer Wissenschaftliche Berichte FZKA 7407
- /MAR 2012/ **Marquardt C. (Hrsg.) (2012)** Interaction and Transport of Actinides in Natural Clay Rock with Consideration of Humic Substances and Clay Organic Compounds, KIT Scientific Reports 7633, 2012
- /MEN 2005/ **Mengel K. (2005)** Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten, Schlussbericht BMBF-Projekt, FKZ 02C0841
- /MIC 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
- /MÖN 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
- /MOL 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
- /IAEO 2006/ Geological Disposal of Radioactive Waste, Safety Requirements No. WS-R-4, IAEA, Vienna, 2006
- /NAS 1957/ [http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=10294](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
- /NOS 2006/ **Noseck U., Schönwiese D., Becker D.A. (2006)** Radionuclide Transport and Retention in Natural Rock Formations - Heselbach site. Final Report, GRS-217
- /NOS 2009/ **Noseck U. (2009)** Fundamental Processes of Radionuclide Migration in Rock Salt Formations, GRS-255
- /OEC 2006/ [www.oecd.org/science/inno/frascatimanualproposedstandardpracticeforsurveyson-researchandexperimentaldevelopment6thedition.htm](http://www.oecd.org/science/inno/frascatimanualproposedstandardpracticeforsurveyson-researchandexperimentaldevelopment6thedition.htm)
- /OEC 2013a/ The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Cases for Geological Repositories, NEA/RWM/R(2013)1, February 2013
- /OEC 2013b/ Safety of Long-term Interim Storage Facilities, Workshop Proceedings, Munich, Germany 21-23 May 2013

- /PAP 1997/ **Papp R. (1997)** GEISHA - Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten in Salz und Hartgestein, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte, FZKA-PTE Nr. 3, Mai 1999
- /PÖH 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
- /PTE 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
- /PTK 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
- /PTK 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)
- /PTK 2008/ 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
- /PTK 2012/ Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (2011-2014), Förderkonzept des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Juli. 2012, Hrsg. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Ref. III B3, und Projektträger Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE) - Karlsruher Institut für Technologie
- /PTK/ Wissenschaftliche Berichte und Publikationen des Projektträgers PTKA-WTE: <http://www.ptka.kit.edu/wte/551.php>.
- /ROT 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)
- /ROT 2011/ **Rothfuchs T. (2011)** Verschlusssysteme 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

- /ROT et al. 2012/ **Rothfuchs T., Czaikowski O., Hartwig L., Hellwald K., Komischke M., Mieke R., Zhang C.-L. (2012)** Self-sealing Barriers of sand/bentonite-mixtures in a clay repository – SB-Experiment in the Mont Terri Rock Laboratory – Final Report, GRS-203
- /RSK 2006/ Reaktor-Sicherheitskommission (RSK), Stellungnahme zu „Strahlenschäden im Steinsalz“, 391. RSK-Sitzung, 9.3.2006
- /RÜB 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
- /RÜB 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
- /SCH 2012/ **Schneider A. (2012)** Enhancement of the Codes d<sup>3f</sup> and r<sup>3t</sup>, GRS-292, 2012
- /SIE 2007/ **Siemann M. (2007)** Herkunft und Migration mineralgebundener Gase der Zechstein 2 Schichten in Zielitz, Kali und Steinsalz 3/2007
- /SKB 2012/ Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), Hard Rock Laboratory Äspö, Annual Report, TR-12-03, 2012
- /SMA et al.1989/ **Smailos E., Fiehn B. (1989)** Korrosionsuntersuchungen an der Werkstoffkombination des POLLUX-Behälters zur Direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente in Steinsalzformationen, KfK 4552
- /STO 1993/ **Storck R. (1993)** Langzeitsicherheitsnachweis unter Berücksichtigung von Unsicherheiten, atw - Internationale Zeitschrift für Kernenergie,1993
- /SNY 2008/ **Snyers A. (2008)** NF-Pro-Project, Final Report, EU-23730, Brussels, 2008
- /WAL et al. 2005/ **Wallner M., Mrugalla S., Hammer J., Brewitz W., Fahrenholz C., Fein E., Filber W., Haverkamp B., Jobmann M., Krone J., Lerch C., 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
- /WOL 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
- /XIE et al. 2012/ **Xie M., Mieke R., Kasbohm J., Herbert H.-J., Meyer L., Ziesche U. (2012)** Bentonite Barriers – Bentonite as barrier material for the sealing of underground disposal sites, Final Report BMBF-Projekt 02C 1638, GRS-300
- /ZUI 2013/ **Zuidema P., Johnson L. (2013)** Challenges in establishing a national programme for research, development and demonstration, Euradwaste 13, October 2013, Vilnius/Lithuania

## Anhang

### A1 Verzeichnis verwendeter Abkürzungen

AB	Altbergbau
AkEnd	Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte
ALZ	Auflockerungszone
ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (französische Waste Management Organisation)
AnSichT	Methodenentwicklung und <b>An</b> wendung eines <b>S</b> icherheitsnachweiskonzeptes für einen generischen HAW-Endlagerstandort im <b>T</b> onstein
AtG	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren. AtG – Atomgesetz
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BAMBUS	Backfilling and Sealing of Underground Repositories for Radioactive Waste in Salt (EU-Projekt)
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BfE	Bundesamt für kerntechnische Entsorgung
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung (früher BMFT: Bundesministerium für Forschung und Technologie)
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMWA	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (früher: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie)
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CFM	<b>C</b> olloid <b>F</b> ormation and <b>M</b> igration
CHM	Chemisch Hydraulisch Mechanisch
CTN	Conclusions of the Tunnel Near-Field Programme (Grimsel Test Site)
DAEF	Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung
DBE	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH
DBETec	DBE TECHNOLOGY GmbH (Tochtergesellschaft der DBE)
DEnKMal	Optimierung der <b>D</b> irekten <b>E</b> ndlagerung durch <b>K</b> okillenlagerung in Bohrlöchern, <b>M</b> achbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung
DIC	Dissolved inorganic Carbon
DOC	Dissolved organic Carbon
DOE	Department of Energy (USA)
EBS	Engineered barrier system
EC	European Commission
EFP	Effektive Parameter
ELA	Endlager / Endlagerung
ENRESA	Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (spanische Waste Management Organisation)
EMOS	Endlager-Modellierung von Szenarien (Programmsystem für Sicherheitsanalysen)
EMR	Elektromagnetische Resonanz
EndlagerVIV	Endlager-Vorausleistungsverordnung
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
ESK	Entsorgungskommission
EU	Europäische Union
FEP	Features, Events, Processes

FF	Feder führend
FKZ	Förderkennzeichen
FL	Felslabor
FR-BE	Forschungsreaktor-Brennelemente
FuE	Forschung und Entwicklung
FZJ	Forschungszentrum Jülich
FZR	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf
GEISHA	<b>G</b> egenüberstellung von Endlagerkonzepten in <b>S</b> alz und <b>H</b> artgestein
GEIST	<b>G</b> egenüberstellung von Endlagerkonzepten in <b>S</b> alz und <b>T</b> ongestein
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
GSF	Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung
HAP	Hydroxylapatit
HAW	high active waste
HGF	Helmholtz Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V.
HLW	high level waste
HM	Hydraulisch-mechanisch
HRL	Hard Rock Laboratory
HZDR	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (früher: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZR))
IAEA	International Atomic Energy Agency
IfG	Institut für Gebirgsmechanik (Leipzig)
IGD-TP	Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste– Technology Platform
IGSC	Integration Group for the Safety Case
INE	Institut für Nukleare Entsorgung (im Karlsruhe Institut für Technologie)
ISIBEL	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine <b>s</b> icherheitliche <b>B</b> ewertung von Endlagern für HLW
IzFP	Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren (Saarbrücken/Dresden)
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KMÜ	Kernmaterialüberwachung
K-UTEC	Kali Umwelttechnik (Sondershausen)
KVKT	Kompetenzverbund Kerntechnik
LUH-IUB	Leibniz Universität Hannover - Institut für Geotechnik Abteilung Unterirdisches Bauen
LWR	Leichtwasserreaktor
MAW	medium active waste
MOX	Mischoxid (Brennelemente)
MTR	Materials testing reactor (Forschungsreaktor)
NA	Natürliche Analoga
NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Schweiz)
NAWG	Natural Analogues Working Group
NDA	Nuclear Decommissioning Authority (britische Waste Management Organisation)
NOM	Natural organic matter
NO.RAO	National Operator for Radioactive Waste Management (Russland) (russische Waste Management Organisation)
NUSAFE	HGF-Programm Nukleare Entsorgung und Sicherheit sowie Strahlenforschung
OECD-NEA	Organisation for Economic Cooperation and Development - Nuclear Energy Agency
Ondraf/Niras	Organisme National des Déchets RAdioactifs et des matières Fissiles enrichies / Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen (niederländische Waste Management Organisation)
PET	Positronen-Emissions-Tomografie
POF	Programmorientierte Förderung (Forschung, HGF))

Posiva	Posiva Oy (finnische Waste Management Organisation)
PSE	Projekt Systemstudie Entsorgung
PT-GRS	Bereich Projektträger/Behördenunterstützung (PT/B) der GRS
PTKA-WTE	Projektträger Karlsruhe – Wassertechnologie und Entsorgung
P&T	Partitionierung und Transmutation
RSK	Reaktorsicherheitskommission
RWMC	Radioactive Waste Management Committee (der OECD-NEA)
SB-Experiment	FuE-Projekt "Self-Sealing Barriers of Sand/Bentonite-Mixtures in a Clay Repository" (Mont Terri)
SBR	Schneller Brutreaktor
SCK-CEN	Studiecentrum voor Kernenergie – Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire – Belgian Nuclear Research Centre (Belgien)
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB (schwedische Waste Management Organisation)
SRA	Strategic research agenda
StandAG	Standortauswahlgesetz (Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle)
THM	Thermisch, Hydraulisch, Mechanisch
THMC	Thermisch, Hydraulisch, Mechanisch, Chemisch
TLB	Transport- und Lagerbehälter
TSO	Technical Support Organization
TSS	Thermische Simulation der Streckenlagerung
TUBAF	Technische Universität Bergakademie Freiberg
TUBS	Technische Universität Braunschweig
TUC	Technische Universität Clausthal
UFO	Umweltforschungsplan des BMUB
URL	Underground research laboratory
USA	United States of America
US-DOE	United States of America – Department of Energy
UTD	Untertagedeponie / Untertagedeponierung
UTV	Untertageversatz / Untertageversatzbergwerke
VNIP PT	VNIPI Promthechnologii, Moskau
VSG	Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben
WIPP	Waste Isolation Pilot Plant (USA)
WTZ	Wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit

## Projekt- und Rechenprogramm Akronyme im Text

BARIAN	FuE-Projekt „Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen“
d <sup>3f</sup>	Rechencode distributed density-driven flow
DIKOSA	FuE-Projekt „Diffusion in kompaktiertem Salzgrus“
ELSA	FuE-Projekt „Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle“
EMOS-ChemApp	Rechencode EMOS verbunden mit Rechencode ChemApp
ERATO	FuE-Projekt „Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tongestein“
ESTRAL	FuE-Projekt „Einbindung von Sorptionsprozessen in Transportprogramme für die Langzeitsicherheitsanalyse“
FLAC3D	Rechencode Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3-Dimensions
FORGE	EU-Projekt „Fate of Repository Gases“
FUNMIG	EU-Projekt „Fundamental Processes of Radionuclide Migration“
GENESIS	FuE-Projekt „Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tonstein in Deutschland, Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar
LASA	Projekt „Large-scale gas injection test“ im HRL Äspö
LASGIT	FuE-Projekt „Chemisch-hydraulische Modelle für die Prognose des Langzeitverhaltens von Sorelbeton in Salzformationen“
LAVA	EU-Projekt „Near Field Processes“
NF-PRO	FuE-Projekt „Qualifizierung der Rechenprogramme d <sup>3f</sup> und r <sup>3t</sup> “
QUADER	radionuclides, reaction, retardation, and transport
r <sup>3t</sup>	
REPOPERM	FuE-Projekt „Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager“
ROCKFLOW	Rechenprogramm (gekoppelte THM-Prozesse)
VerA	FuE-Projekt „Vergütung der Auflockerungszone im Salinar“
VESPA	FuE-Projekt „Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld eines Endlagers und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung“
WEIMAR	FuE-Projekt „Weiterentwicklung des Smart-Kd-Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen“

## **A2 Verzeichnis laufender Forschungsvorhaben (Projektförderung)**

Im Folgenden sind die laufenden, BMWi-finanzierten Forschungsvorhaben (Stand 10/2014) für den Bereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle und der Kernmaterialüberwachung aufgelistet. 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**

<b>02E11061A</b> 09/11 bis 06/16	GRS Braunschweig	Methodenentwicklung und Anwendung eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für einen generischen HAW-Endlagerstandort im Tonstein (AnSichT)
<b>02E11061B</b> 09/11 bis 06/16	DBE Technology	Methodenentwicklung und Anwendung eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für einen generischen HAW-Endlagerstandort im Tonstein (AnSichT)
<b>02E11061C</b> 03/12 bis 06/16	BGR	Methodenentwicklung und Anwendung eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für einen generischen HAW-Endlagerstandort im Tonstein (AnSichT)

#### **A3 Weiterentwicklung von Einlagerungs-, Handhabungs- und Überwachungstechniken**

<b>02E11263</b> 10/13 bis 09/15	DBE Technology	Sicherheitstechnische Untersuchungen zum Schachttransport schwerer Lasten bis zu 175 Tonnen Nutzlast (SULa)
<b>02E11263</b> 08/14 bis 01/17	DBE Technology	Entwicklung technischer Konzepte zur Rückholung von Endlagerbehältern mit wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen aus Endlagern in Salz- und Tongesteinsformationen (ERNESTA)

#### **A4 Charakterisierung und Eigenschaften potentieller Wirtsgesteinsformationen**

<b>02E11294</b> 08/12 bis 07/15	DBE Technology	Vergütung der Auflockerungszone im Salinar (VerA) Phase II – Generierung von Rissystemen einer Auflockerungszone im Korngrößenmaßstab und Überführung der Ergebnisse auf die Makroebene zur Simulation eines Injektionsvorganges
<b>02E11304</b> 07/14 bis 06/17	GRS Braunschweig	Tonforschung im Untertagelabor Mont-Terri

## **A5 Entwicklung geotechnischer Barrieren**

<b>02E11132</b> 09/12 bis 08/16	GRS Braunschweig	Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar Kurztitel: LA-SA
<b>02E11203A</b> 03/13 bis 02/16	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Stabilität von kompaktiertem Bentonit zur Rückhaltung von Radionukliden in geklüfteten Systemen - Experimente und Modellierung, KOLLORADO-e
<b>02E11203B</b> 03/13 bis 02/16	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Stabilität von kompaktiertem Bentonit zur Rückhaltung von Radionukliden in geklüfteten Systemen - Experimente und Modellierung, KOLLORADO-e
<b>02E11092</b> 11/12 bis 09/15	TU Bergakademie Freiberg	Gefügestabilisierter Salzgrusversatz (GESAV) - Phase 1

## **B Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern**

### **B1 Szenarientwicklung**

<b>02E10719</b> 12/09 bis 06/16	GRS Braunschweig	Komplettierung des Instrumentariums zur Technischen Realisierbarkeit und Sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar (KOMTESSA)
<b>02E10729</b> 12/09 bis 06/16	DBE Technology GmbH	Komplettierung des Instrumentariums zur Technischen Realisierbarkeit und Sicherheitlichen Bewertung von HAW-Endlagern im Salinar (KOMTESSA)

### **B2 Verhalten der Wirtsgesteinsformation**

<b>02E10377</b> 05/07 bis 12/16	GRS Braunschweig	Untersuchung der THM-Prozesse im Nahfeld von Endlagern in Tonformationen
<b>02E10810</b> 10/10 bis 09/16	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)
<b>02E10820</b> 10/10 bis 03/16	Technische Uni- versität Clausthal	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermomechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV 5: TUC)
<b>02E10830</b> 10/10 bis 03/16	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)
<b>02E10840</b> 10/10 bis 03/16	KIT (Großfor- schung)	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermomechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV 3: KIT-INE)
<b>02E10850</b> 10/10 bis 03/16	Universität Han- nover	Verbundprojekt: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen anhand von Modellberechnungen zum thermomechanischen Verhalten und zur Verheilung von Steinsalz (TV4: LUH-IUB)
<b>02E10860</b> 10/10 bis 03/16	Technische Uni- versität Braun- schweig	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**

<b>02E11284</b> 07/14 bis 06/17	GRS Braunschweig	Bentonitaufsättigung in geotechnischen Barrieren im Endlager-Nahfeld (BIGBEN)
<b>02E11314A</b> 09/14 bis 11/17	GRS Braunschweig	Ermittlung der Stabilitätsbandbreiten redoxdeterminierender eisenhaltiger Korrosionsphasen (KORPHA)
<b>02E11334A</b> 09/14 bis 11/17	GRS Braunschweig	Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen, Teilprojekt A
<b>02E11334B</b> 12/14 bis 11/17	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf	Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen, Teilprojekt B
<b>02E11334C</b> 12/14 bis 11/17	KIT (Großforschung)	Verbundprojekt EDUKEM: Entwicklung und Durchführung experimenteller Methoden zur verbesserten Modellierbarkeit uranhaltiger salinärer Lösungen, Teilprojekt C

### **B4 Verhalten von geotechnischen Barrieren**

<b>02E10951</b> 06/11 bis 05/15	GRS Braunschweig	Diffusion in kompaktierten Salzgrus - Kurztitel: DIKOSA
<b>02E11122</b> 09/12 bis 08/16	GRS Braunschweig	Entwicklung chemisch-hydraulischer Modelle für die Prognose des Langzeitverhaltens von Sorelbeton in Salzformationen - Kurztitel: LAVA
<b>02E11142</b> 09/12 bis 08/16	GRS Braunschweig	Performance Assessment of Sealing Systems Kurztitel: PASS
<b>02E11152</b> 09/12 bis 08/16	DBE Technology GmbH	Prozess-Simulation zur Konzeption von Stütz- und Dichtelementen für Schachtverschlüsse (ProSiD)
<b>02E11193A</b> 05/13 bis 12/15	TU Bergakademie Freiberg	Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen
<b>02E11193B</b> 05/13 bis 12/15	DBE Technology GmbH	Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle (ELSA – Phase II): Konzeptentwicklung für Schachtverschlüsse und Test von Funktionselementen von Schachtverschlüssen
<b>02E11243</b> 09/13 bis 12/16	GRS Braunschweig	Langzeitsicherer Schachtverschluss im Salinar – Ergänzende laborative und modelltheoretische Untersuchungen zum HM-gekoppelten Rekompaktionsverhalten der EDZ (LASA-EDZ)
<b>02E11253</b> 10/13 bis 12/15	Technische Universität Clausthal	Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke im Steinsalz und deren flüssigkeitsgestützte Abdichtung - Phase I (Konzeption von Funktionsnachweis und Abdichtungsmethoden, Testung und Auswahl von Behandlungsfluiden)

<b>02E11273</b> 12/13 bis 11/14	GRS Braunschweig	Umwandlungsmechanismen in Bentonitbarrieren - Vorprojekt (UMB-V)
<b>02E11324</b> 10/14 bis 09/17	GRS Braunschweig	Entwicklung eines chemisch-hydraulischen Modells für die Prognose des Langzeitverhaltens von Salzbeton in Salzformationen (LAVA-2)

### **B5 Verhalten von geologischen Barrieren**

<b>02E10961</b> 07/11 bis 06/15	KIT (Großforschung)	Verbundvorhaben: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen - Teilprojekt 1: Karlsruher Institut für Technologie
<b>02E10971</b> 07/11 bis 06/15	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf	Verbundvorhaben: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen - Teilprojekt 2: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
<b>02E10981</b> 07/11 bis 06/15	Universität Mainz	Verbundvorhaben: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen - Teilprojekt 3: Universität Mainz
<b>02E10991</b> 07/11 bis 06/15	Universität des Saarlandes	Verbundvorhaben: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen - Teilprojekt 4: Universität des Saarlandes
<b>02E11001</b> 07/11 bis 06/15	Technische Universität München	Verbundvorhaben: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen - Teilprojekt 5: Technische Universität München
<b>02E11011</b> 07/11 bis 06/15	Universität Potsdam	Verbundvorhaben: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen - Teilprojekt 6: Universität Potsdam
<b>02E11021</b> 07/11 bis 06/15	Technische Universität Dresden	Verbundvorhaben: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen - Teilprojekt 7: Technische Universität Dresden
<b>02E11031</b> 07/11 bis 06/15	Universität Heidelberg	Verbundvorhaben: Rückhaltung endlagerrelevanter Radionuklide im natürlichen Tongestein und in salinaren Systemen - Teilprojekt 8: Universität Heidelberg

### **B6 Methodenentwicklung und Rechenprogramme für Sicherheitsbewertungen**

<b>02E11041</b> 10/11 bis 03/15	Technische Universität Clausthal	Kopplung der Softwarecodes FLAC3D und TOUGH2 in Verbindung mit In-situ-, laborativen und numerischen Untersuchungen zum thermischhydraulisch-mechanisch gekoppelten Verhalten von Tongestein unter Endlagerbedingungen
<b>02E11072A</b> 06/12 bis 11/16	GRS Braunschweig	Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart-Kd-Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen - Teilprojekt GRS

<b>02E11072B</b> 06/12 bis 11/16	Helmholtz- Zentrum Dres- den-Rossendorf	Verbundprojekt WEIMAR: Weiterentwicklung des Smart-Kd- Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen - Teilprojekt HZDR
<b>02E11213</b> 03/13 bis 02/16	GRS Braunschweig	Qualifizierung der Rechenprogramme d <sup>3f</sup> und r <sup>3t</sup> , Kurztitel Quader

### **B7 Validierung von Modellen, Unsicherheitsanalyse**

<b>02E10750</b> 07/10 bis 09/15	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaussage zu HAW-EndLagersystemen in magmatischen Wirtsgestein - Kurztitel: URSEL
<b>02E10760</b> 07/10 bis 09/15	DBE Technology GmbH	Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsaussage zu HAW-EndLagersystemen in magmatischen Wirtsgestein - Kurztitel: URSEL
<b>02E11051</b> 10/11 bis 10/14	Technische Uni- versität Clausthal	Optimierung der numerischen Effizienz von Verfahren zur Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf Modelle zur Analyse der Langzeitsicherheit von Endlagern
<b>02E11062A</b> 03/12 bis 08/15	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden Rechnern mit d <sup>3f</sup> und r <sup>3t</sup> (H-DUR)
<b>02E11062B</b> 06/12 bis 08/15	Universität Jena	Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden Rechnern mit d <sup>3f</sup> und r <sup>3t</sup> (H-DUR)
<b>02E11062C</b> 03/12 bis 05/15	Universität Frankfurt	Verbundprojekt: Modellierung von Datenungewissheiten auf hybriden Rechnern mit d <sup>3f</sup> und r <sup>3t</sup> (H-DUR)
<b>02E10941</b> 05/11 bis 10/16	GRS Braunschweig	Erprobung und Weiterentwicklung moderner Methoden der Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf den Sicherheitsnachweis für ein künftiges Endlager - Kurztitel: MOSEL

### **NN Evaluierung Forschungsaktivitäten**

<b>02E11102</b> 08/12 bis 12/15	GRS Braunschweig	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsi- cherheit von Endlagern
<b>02E11172</b> 08/12 bis 10/13	GRS Braunschweig	Studie zur Partitionierung und Transmutation (P&T) hochradi- oaktiver Abfälle; Kurztitel P&T-Studie
<b>02E11182A</b> 11/12 bis 01/16	GRS Braunschweig	Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten Tonfor- mation in der Nachbetriebsphase - SAnToS
<b>02E11182B</b> 11/12 bis 01/16	DBE Technology GmbH	Sicherheitsanalytische Untersuchungen für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einer diagenetisch überprägten onfor- mation in der Nachbetriebsphase - SAnToS
<b>02E11233</b> 07/13 bis 12/14	DBE Technology	Status quo der Lagerung C-14-haltiger Abfälle aus deutschen Hochtemperatur- und Forschungsreaktoren und Strategie zu deren künftigen Endlagerung (CarbonForeSt)

## **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 IAE0 für die technische Entwicklung und weitere Verbesserung der IAE0-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***

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

### ***C2 Neue Techniken***

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

### ***C3 Aufnahme, Auswertung, Zusammenführung und Fernüberwachung von Daten***

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

### **A3 Verzeichnis abgeschlossener Forschungsvorhaben (Projektförderung)**

In der folgenden Liste sind abgeschlossene Forschungsvorhaben (Stand 10/2014) zusammengestellt, die ab dem Jahr 1980 durch das BMBF und ab dem Jahr 1999 durch das BMWA bzw. BMWi auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle und Kernmaterialüberwachung gefördert wurden. Der größte Teil aller Vorhaben, die bis Ende des Jahres 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**

<b>KWA 5215/7</b> 04/86 bis 06/88	Siemens	Untersuchungsprogramm zum Verhalten abgebrannter Brennelemente bei starken mechanischen Einwirkungen
<b>KWA 5601/4</b> 01/86 bis 12/89	BAM	Weiterentwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens zur Qualitätskontrolle von zementierten LAW- und MAW-Abfällen
<b>KWA 5602/5</b> 04/86 bis 06/88	Battelle	Untersuchungen zum Fraktionierungsverhalten und zur Aerosolbildung beim Absturz von Gebinden mit hochradioaktivem Abfall im Endlager
<b>KWA 5902/7</b> 10/89 bis 05/90	Battelle	Untersuchung von Arbeiten auf dem Gebiet Gebindeabsturz und Aerosolfreisetzung im Endlager
<b>02E8080/4</b> 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
<b>02E8231/9</b> 10/90 bis 12/93	Institut für Energetik und Umwelt (IfE)	Bestimmung von Leitnukliden und Produkteigenschaften endzulagernder radioaktiver Abfälle
<b>02E8411/7</b> 10/90 bis 12/93	Battelle	Zerstörungsfreie Feststellung von Füllstand, freien Flüssigkeiten und Gasen in Abfallgebinden mit nicht-nuklearen Prüfmethoden
<b>02E8623</b> 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**

<b>02E8442</b> 04/92 bis 06/95	NOELL	Untersuchungen zur Aussagefähigkeit von Prüfkriterien an nichtmetallischen Beschichtungen für Anlagen und Behälter zur Entsorgung radioaktiver Stoffe
<b>02E8684</b> 01/94 bis 05/96	DBE	FuE-Arbeiten zu Sicherheitsbetrachtungen für ein hypothetisches Endlager im tiefen geologischen Untergrund im kristallinen Gestein
<b>FZKA-PTE Nr. 3</b> 1994 bis 1996	FZK	GEISHA: Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten in Salz und Hartgestein
<b>02E8694</b> 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
<b>02E9087</b> 10/97 bis 06/99	DBE	Ein neuer Ansatz zur Bewertung der Wirksamkeit von Barrieren im Endlager
<b>02E9350</b> 05/00 bis 03/01	PanGeo	Vergleichende Bewertung von Entsorgungsoptionen für radioaktive Abfälle
<b>02E9511</b> 08/01 bis 12/04	DBE Technology GmbH	Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein (GEIST)
<b>02E9521</b> 08/01 bis 06/06	DBE Technology GmbH	Übertragung des Sicherheitsnachweiskonzeptes für ein Endlager im Salz auf andere Wirtsgesteine (ÜBERSICHT)
<b>02E9632</b> (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
<b>02E9733</b> 07/03 bis 12/06	DBE Technology GmbH	Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tongestein
<b>02E10286</b> 10/06 bis 12/08	DBE Technology GmbH	Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tongestein

## **A3 Weiterentwicklung von Einlagerungs-, Handhabungs- und Überwachungstechniken**

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

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

<b>02E8191/0</b> 01/90 bis 03/95	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente. Handhabungsversuche zur Streckenlagerung - Phase III
<b>02E8201/4</b> 01/90 bis 12/93	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente - Systemanalyse Endlagerkonzepte
<b>02E8211/2</b> 01/90 bis 12/92	GSF	Arbeiten zur Direkten Endlagerung von Brennelementen
<b>02E8221/0</b> 01/90 bis 09/93	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente. Simulation des Schachttransportes - Phase III
<b>02E8472/7</b> 01/91 bis 12/95	DBE	Direkte Endlagerung ausgedienter Brennelemente. Demonstrationsversuch: Aktives Handhabungsexperiment mit Neutronenquellen
<b>02E8181A</b> 01/94 bis 12/99	GNB	Verkehrs- und atomrechtliches Zulassungsverfahren für den Transport- und Lagerbehälter CASTOR MTR 2
<b>02S7523</b> 10/93 bis 03/99	Noell	Entwicklung und Bau einer mobilen Umladestation zur Entsorgung von Brennelementen aus Forschungsreaktoren
<b>02E8946</b> 10/96 bis 01/00	DBE	Entwicklung und Erprobung redundanter faseroptischer Meßsysteme mit Selbstkontrolle zur Endlagerüberwachung
<b>02E9249</b> 02/00 bis 12/04	DBE	Entwicklung und In-situ-Erprobung faseroptischer Überwachungssysteme unter dem Aspekt der Betriebssicherheit in einem Endlager
<b>02E9854</b> 02/04 bis 09/09	DBE Technology GmbH	Optimierung der Direkten Endlagerung durch Kokillenlagerung in Bohrlöchern, Machbarkeitsstudie und Entwurfs- und Konzeptplanung (DENKMAL)
<b>02E10508</b> 05/08 bis 04/09	DBE Technology GmbH	Machbarkeitsstudie zur Vorbereitung eines 2-Bohrloch-Erhitizersversuches im URL Mont Terri, Schweiz "MACH-2"
<b>02E10639</b> 01/09 bis 10/13	DBE Technology GmbH	Untersuchung zu Rahmenbedingungen und Aufbau eines Endlager-Monitoring für hochradioaktive Abfälle in verschiedenen Wirtsgesteinsformationen und Phasen einer Endlagerentwicklung unter Berücksichtigung von Machbarkeit und Unsicherheiten (MonA)

#### **A4 Charakterisierung und Eigenschaften potentieller Wirtsgesteinsformationen**

<b>KWA 2010/9</b> 01/80 bis 12/81	Battelle	Einsatz der Schallemissionsanalyse zur Überwachung von Salzstöcken während und nach der Einlagerung radioaktiver Abfälle
<b>KWA 5113/8</b> 01/81 bis 12/84	BGR	Erkundung unerschlossener Bereiche von Salzlagerstätten durch hochfrequente elektromagnetische Bohrlochmessverfahren
<b>KWA 5114/9</b> 01/81 bis 12/84	Nied. Land. f. Bodenforsch.	Erkundung unerschlossener Bereiche von Salzlagerstätten durch hochfrequente elektromagnetische Bohrlochmessverfahren
<b>KWA 5115/0</b> 01/81 bis 12/84	Prakla-Seismos	Erkundung unerschlossener Bereiche von Salzlagerstätten durch hochfrequente elektromagnetische Bohrlochmessverfahren

<b>KWA 5201/5</b> 01/82 bis 12/84	BGR	Aufstellung und ingenieurgeologische Beschreibung von Kristallin-Vorkommen in der Bundesrepublik Deutschland
<b>KWA 5209/2</b> 05/82 bis 12/85	Battelle	Einsatz der Schallemissionsanalyse zur Überwachung von Teilbereichen eines Salzstocks während und nach der Einlagerung radioaktiver Abfälle - Stufe II
<b>KWA 5209/A/2</b> 07/87 bis 11/89	Battelle	Einsatz der Schallemissionsanalyse zur Überwachung von Teilbereichen eines Salzstocks während und nach der Einlagerung radioaktiver Abfälle - Stufe III
<b>KWA 5303/4</b> 01/83 bis 12/87	BGR	Gebirgsspannungen - Felslabor Grimsel: Weiterentwicklung von Überbohrversuchen zur Bestimmung der Gebirgsspannungen und von Bohrlochverformungsversuchen
<b>KWA 5304/5</b> 01/83 bis 12/87	BGR	Bohrlochkranzversuch - Felslabor Grimsel: Felshydraulische Untersuchungen zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit und des Strömungsmechanismus von Kluftwasser
<b>KWA 5304/A/5</b> 01/88 bis 12/90	BGR	Bohrlochkranzversuch - Felslabor Grimsel: Deutsch-schweizerische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung
<b>KWA 5305/6</b> 01/83 bis 04/86	BGR	Hochfrequenzmessungen zur Ermittlung der Homogenität von kristallinen Gesteinskomplexen
<b>KWA 5315/4</b> 04/83 bis 12/90	GSF	Untersuchungsprogramm zur Erkundung ausgewählter Eigenschaften von kristallinen Felsformationen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle
<b>KWA 5501/7</b> 01/85 bis 12/88	BGR	Weiterentwicklung von Hochfrequenz-EMR-Messverfahren zur untertägigen Vorauserkundung unerschlossener Salzlagerbereiche
<b>KWA 5505/0</b> 01/85 bis 12/87	DORNIER	Systemanalyse zu sicherheitstechnischen Aspekten von radioaktiven Abfällen im tiefsten Meeresboden
<b>KWA 5606/9</b> 07/86 bis 09/89	DBE	Weiterentwicklung von elektromagnetischen Reflexions-Messverfahren (EMR) zur untertägigen Vorauserkundung unerschlossener Salzlagerbereiche
<b>02E8110/4</b> 07/90 bis 12/92	Battelle	Schallemissionsmessungen zur Verfolgung der Bildung von Auflockerungszonen und von größeren Rissen in Salzgestein
<b>02E8141/0</b> 01/91 bis 06/94	BGR	Deutsch-schweizerische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung. Durchströmungseigenschaften von geklüftetem Fels (Bohrlochkranzversuch - Fracture System Flow Test)
<b>02E8151/8</b> 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
<b>02E8151/A</b> 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
<b>02E8936</b> 01/96 bis 12/96	GRS Braunschweig	Voruntersuchungen zur Gebirgscharakterisierung und Auswahl eines Versuchsfeldes für ein 2-Phasenfluß-Experiment im Äspö-Hartgesteinslabor

<b>02E8141 A</b> 07/94 bis 09/98	BGR	Deutsch-Schweizerische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung: Stofftransport in geklüftetem Fels /Gebirgscharakterisierung im Stollennahbereich
<b>02E9027</b> 01/97 bis 12/99	GRS Braunschweig	Zweiphasenfluss-Experiment im geklüfteten Kristallin im Hartgesteinslabor (HRL) ÄSPÖ
<b>KWA 9503</b> 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
<b>02E8785</b> 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)
<b>02E9037</b> 01/97 bis 06/00	BGR	Zweiphasenfluss-Experimente im geklüfteten wasserführenden Kristallin
<b>02E9208</b> 10/98 bis 09/01	GRS Braunschweig	Felslabor Grimsel (Phase V): Effektive Parameter (EFP) - Begleitende geoelektrische Untersuchungen -
<b>02E9098</b> 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
<b>02E9118</b> 07/98 bis 04/03	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur hydraulisch wirksamen Auflockerungszone um Endlagerbereiche im Salinar in Abhängigkeit vom Hohlraumabstand und Spannungszustand
<b>02E9188</b> 10/98 bis 12/01	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Gas- und Wasserfreisetzung und der Wasserverteilung im Erhitzerversuch im OPALINUS-Ton des Mont Terri-Tunnels
<b>02E9198</b> 10/98 bis 06/05	GRS	Untersuchungen zur Gasausbreitung in den technischen Barrieren Beton und Bentonit sowie im Granit im Felslabor Grimsel Phase V
<b>02E9218</b> (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
<b>KWA 9901</b> 01/99 bis 12/02	FZK	Unterstützungsprogramm Granit
<b>02E9380</b> 06/00 bis 05/03	IIF-Leipzig	Migrations- und Sorptionsuntersuchungen geogener Lösungen in Wirtsgesteinsformationen (Ton, Tongestein, Salzgestein) mittels tomographischer Radiotracerverfahren (PET)
<b>02E9420</b> 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
<b>02E9541</b> 07/01 bis 12/03	GRS Braunschweig	Vorprojekt zur Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im URL Bure

<b>02E9571</b> 08/01 bis 12/04	DBE Technology GmbH	Koordination geowissenschaftlicher Tätigkeiten in alternativen Wirtsgesteinen
<b>02E9602</b> 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
<b>02E9612</b> 02/02 bis 03/05	DBE Technology GmbH	Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager im Hartgestein
<b>02E9622</b> 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
<b>02E9773</b> 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
<b>02E9834</b> 01/04 bis 12/07	GRS Braunschweig	Laborprogramm zur Untersuchung der Entwicklung und Verteilung von Auflockerungszonen in Tonsteinformationen
<b>02E9914</b> 04/04 bis 12/07	GRS Braunschweig	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor Phase 2; Kurzzeitentwicklung der EDZ
<b>02E9965</b> 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
<b>02E9975</b> 06/05 bis 05/08	GRS Braunschweig	Untersuchung zur Wirksamkeit des geologischen und geotechnischen Barrierensystems im Hinblick auf die Standort-Auswahl in magmatischen Gesteinen
<b>02E10226</b> 09/06 bis 06/08	GRS Braunschweig	Gasmigration im Opalinus Ton in Abhängigkeit vom Gasinjektionsdruck (unterhalb des Fracdruckes)
<b>02E10086</b> 08/06 bis 08/13	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 Geotechnische Barrieren**

<b>KWA 5509/4</b> 10/85 bis 05/86	DBE	Dammbau im Salzgebirge - Pilotdamm Phase I: Vorbereitende Arbeiten und Konzeptplanung
<b>KWA 5603/A/6</b> 07/86 bis 12/92	GSF	Dammbau im Salzgebirge - Untersuchungen und Erprobung eines Systems von Baukomponenten zur Entwicklung und Optimierung eines Dammbauwerkes
<b>KWA 5604/7</b> 07/86 bis 12/92	DBE	Dammbau im Salzgebirge - Untersuchungen und Erprobung eines Systems von Baukomponenten zur Optimierung eines Dammbauwerkes

<b>KWA 5605/A/8</b> 07/86 bis 12/92	BGR	Dammbau im Salzgebirge - Untersuchungen und Erprobung eines Systems von Baukomponenten zur Optimierung eines Dammbauwerkes
<b>02E9390</b> 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>02E10921</b> 04/11 bis 01/13	TU Bergakademie Freiberg	Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle - ELSA- (TV 1)
<b>02E10931</b> 04/11 bis 01/13	DBE Technology	Schachtverschlüsse für Endlager für hochradioaktive Abfälle - ELSA- (TV 2)

## **B VERBESSERUNG VON INSTRUMENTARIEN FÜR DIE SICHERHEITSBEWERTUNG VON ENDLAGERN**

### **B1 Szenarientwicklung**

<b>02E8563</b> 01/93 bis 01/95	Stoller	Untersuchungen zur Szenarienmodellierung im Nahfeld eines wärmebeeinflussten Endlagerbereichs im Salzgestein
<b>02E10055</b> 10/05 bis 03/10	GRS Braunschweig	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW
<b>02E10065</b> 10/05 bis 03/10	DBE Technology GmbH	Überprüfung und Bewertung des bereits verfügbaren Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HLW
<b>02E10598</b> 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**

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

<b>KWA 5502/8</b> 01/85 bis 12/87	BGR	Geotechnisches Verhalten verschiedener Salzgesteine
<b>KWA 5503/9</b> 01/85 bis 06/88	BGR	In-situ-Heizversuche zum Nachweis kritischer Spannungszustände (thermisch induzierte Rissbildung)
<b>KWA 5802/0</b> 03/88 bis 12/90	BGR	Wissenschaftliche Grundlagen der Erkundung und Berechenbarkeit des Endlagerbergwerks
<b>02E8161/6</b> 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
<b>02E8241/A</b> 01/92 bis 03/95	IfG Leipzig	Gebirgsmechanisches Verhalten von Anhydrit und Salzton
<b>02E8311/0</b> 07/91 bis 06/93	IfAG	Flächenhafte Erfassung der vertikalen Deckgebirgsbewegungen in untertägigen Hohlräumen im Salzgebirge
<b>02E8391</b> 01/91 bis 12/96	BGR	Entwicklung von Methoden zur Erkundung dynamischen Gebirgseigenschaften in der Umgebung von untertägigen Hohlräumen
<b>02E8421</b> 01/91 bis 02/95	BGR	Untersuchungen thermophysikalischer und elektrischer Eigenschaften von Salzgesteinen
<b>02E8452</b> 04/92 bis 06/95	GSF	Geotechnische Untersuchung im Salinar zur Ermittlung des gebirgsmechanischen Verhaltens von Anhydrit und Salzton (Nachbetriebsphase)
<b>02E8542/0</b> 01/93 bis 12/94	BGR	Thermomechanisches Verhalten von Salzgesteinen
<b>02E8755</b> 09/95 bis 08/98	IfG Leipzig	Untersuchung der Barrierewirksamkeit des Gesteinsverbandes Steinsalz/Anhydrit/Salzton (BARITON)
<b>02E8765</b> 09/95 bis 08/98	GRS Braunschweig	Untersuchung der Barrierewirksamkeit des Gesteinsverbandes Steinsalz/Anhydrit/Salzton (BARITON)
<b>02E9006</b> 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
<b>02E9158</b> 09/98 bis 12/01	IfG-Leipzig	Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungumlagerungen (BARIAN)
<b>02E9168</b> 09/98 bis 12/01	GRS Braunschweig	Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungumlagerungen (BARIAN)
<b>02E9400</b> 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“
<b>02E9501</b> 07/01 bis 03/04	GRS Braunschweig	Geoelektrische Untersuchung der Entsättigung des Opalinuston im Ventilationsversuch im Mont Terri-Untertagelabor

<b>02E9531</b> 10/01 bis 07/06	DBE Technology GmbH	Untersuchung Thermischer Expansions-Effekte (TEE) in Tonformationen
<b>02E9582</b> 03/02 bis 06/04	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (Phase 2)
<b>02E9592</b> 03/02 bis 09/04	GRS	Verbundprojekt: Untersuchung des Barriereverhaltens von Anhydrit bei großräumigen Spannungsumlagerungen (BARIAN) Phase 2
<b>02E9864</b> 01/04 bis 06/05	BUTEC Umwelttechnik GmbH	Selbstheilungseffekte in Tongestein bei hohen Temperaturen - Teilvorhaben WP 4.4 des Integrated Project NF-PRO des 6. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission
<b>02E9874</b> 01/04 bis 12/07	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Untersuchung der komplexen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften von Tongesteinen unter besonderer Berücksichtigung der Foliation
<b>02E10045</b> 07/05 bis 09/10	GRS Braunschweig	Beteiligung am Forschungsprogramm der ANDRA im Untertage Labor Bure
<b>02E10096</b> 05/06 bis 04/09	KIT (Großforschung)	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen
<b>02E10106</b> 05/06 bis 04/09	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen
<b>02E10427</b> 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
<b>02E10669</b> 05/09 bis 12/12	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kollorado 2
<b>02E10679</b> 05/09 bis 12/12	KIT (Großforschung)	Verbundprojekt: Kolloidgetragener Radionuklidtransport in geklüfteten Gesteinen, Kurztitel: Kollorado 2

### **B3 Chemische und physikalische Effekte im Nahfeld**

<b>KWA 5116/0</b> 01/81 bis 12/83	GSF	Laugenmigrationstest in der SchachanlageASSE
<b>KWA 5124/7</b> 07/81 bis 08/83	Siemens	Auslaugversuche an unbestrahlten und bestrahlten Kernbrennstoffen in Salzlaugen
<b>KWA 5124/A/7</b> 09/83 bis 06/86	Siemens	Langzeitauslaugung bestrahlter Kernbrennstoffe in Salzlaugen und Einfluss von Eisen auf die Elementmobilisierung
<b>KWA 5312/1</b> 02/83 bis 01/85	TU München	Bestimmung der Löslichkeiten und des chemischen Verhaltens der Np-, Pu- und Am-Komplexe in Salzlösungen
<b>KWA 5313/2</b> 02/83 bis 01/85	FU Berlin	Untersuchung der Mobilität von Plutonium und Americium aus MAW-Produkten bei Endlagerung im Salz

<b>KWA 5314/3</b> 09/83 bis 12/86	TH Darmstadt	Löslichkeit von Technetium in konzentrierten Salzlösungen
<b>KWA 5401/0</b> 01/84 bis 12/86	GSF	HAW-Simulationsversuch mit Co-60-Quellen in der Schachtanlage Asse
<b>KWA 5905/0</b> 10/90 bis 03/92	DBE	Rückgewinnung von Bohrlocheinbauten und Steinsalzproben nach In-situ-Versuchen zur Sicherheitsanalyse bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Steinsalzformationen
<b>KWA 5906/0</b> 10/90 bis 05/92	Institut für Energetik und Umwelt (IfE)	Korrosions- und Auslaugverhalten metallischer Werkstoffe mit und ohne Beschichtung in einem Endlager - Vorphase
<b>02U5715/0</b> 02/85 bis 03/88	FU Berlin	Untersuchung der Mobilisierung ausgewählter Radionuklide und deren Sorptionsverhalten an natürlichen und technischen Barrieren unter MAW-Endlagerbedingungen
<b>02U5725/9</b> 02/85 bis 12/87	TU München	Geochemisches Verhalten von Aktinoiden und Tc im geologischen Milieu des Endlagerortes
<b>02U5998/3</b> 10/88 bis 09/91	FU Berlin	Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen an bestrahlten und unbestrahlten Urandioxidpellets in konzentrierten Salzlösungen
<b>02E8020/5</b> 07/90 bis 12/93	TU Clausthal	Elektrochemische Untersuchungen der Korrosion von Werkstoffen in heißen Salzlaugen
<b>02E8030/3</b> 08/90 bis 02/93	FU Berlin	Untersuchung der Verstärkung der Rückhaltung des Nahbereiches eines Endlagers in einem Salzdom gegenüber mehrwertigen Kationen durch Hydroxylapatit
<b>02E8030 A</b> 07/94 bis 12/98	FU Berlin	Bestimmung von Löslichkeitsprodukten endlagerrelevanter Elemente in gesättigten Salzlösungen in Gegenwart von Hydroxylapatit
<b>02E8100/6</b> 09/90 bis 10/91	Battelle	Untersuchungen zum Gefährdungspotential von Wasserstoff in einem Endlager für radioaktive Abfälle in Steinsalz während der Betriebsphase
<b>02E8251</b> 09/91 bis 08/95	Uni Düsseldorf	Lokale Korrosion metallischer Werkstoffe u. Gamma-Strahlenwirkung in Passiv-Schichten unter Endlagerbedingung.
<b>02E8261</b> 10/91 bis 04/95	FU Berlin	Radiochemische Korrosionsuntersuchungen an Titan und Titanlegierungen als Containerwerkstoffe in praxisrelevanten Salzlaugen
<b>02E8271/1</b> 10/91 bis 03/95	FU Berlin	Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen an unbestrahltem Urandioxid und simuliertem "spent fuel" in endlagerungsrelevanten Laugensystemen
<b>02E8351/2</b> 05/91 bis 09/92	GRS Köln	Gasbildung und Gastransport in einem salinaren Endlager bei unterstelltem Laugeneinbruch
<b>02E8361/0</b> 10/91 bis 06/92	TU BAF	Vergleich von geochemischen Rechenprogrammen und Erweiterung der thermodynamischen Datenbasis für die Modellierung von hochsalinaren Lösungen

<b>02E8603/5</b> 07/93 bis 01/94	Stoller	Literaturrecherche zu Strahleneffekten im Steinsalz - Auswertung der russischen Literatur
<b>02E8613</b> 11/93 bis 10/96	TU BAF	Vergleich von geochemischen Rechenprogrammen und Erweiterung der thermodynamischen Datenbasis für die Modellierung von hochsalinaren Lösungen (Phase II)
<b>02E8633/0</b> 10/93 bis 04/94	Stoller	Thermische und radiologische Geschichte des Wirtsgesteins in den Versuchen A1 u. A2 im Untertagemessfeld des ERAM
<b>02E8825</b> 10/95 bis 06/96	GRS Braunschweig	Realistische Abschätzung der Strahlenschädigung von Steinsalz bei Einlagerung von HAW in Bohrlöchern
<b>02E8654</b> 04/94 bis 03/98	FZ Jülich	Untersuchungen zur Radionuklidfreisetzung durch Einwirkung konzentrierter Salzlaugen auf Alu-MTR-Brennelemente
<b>02E8725</b> 04/95 bis 08/97	FU Berlin	Elektrochemische und radiochemische Korrosionsuntersuchungen an Urandioxyd in endlagerrelevanten Elektrolytssystemen
<b>02E9108</b> 06/98 bis 11/01	FZ-Jülich	Untersuchungen zur Radionuklidfreisetzung und zum Korrosionsverhalten von bestrahltem Kernbrennstoff aus Forschungsreaktoren unter Endlagerbedingungen
<b>02E9138</b> 10/98 bis 09/02	GRS Braunschweig	Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des geochemischen Milieus in hochsalinaren Lösungen
<b>02E9319</b> 01/00 bis 12/01	TU BAF	Erweiterung der Datenbasis zur thermodynamischen Modellierung der Reaktionen CaSO <sub>4</sub> -haltiger Minerale und des Gips bei Temperaturen bis 200 °C
<b>02E9440</b> 10/00 bis 09/02	GRS Braunschweig	Entwicklung einer Methode zur verbesserten Rückhaltung von Jod und Selen im Nahbereich eines Endlagers
<b>02E9450</b> 11/00 bis 10/03	TU-München	Quantenmechanische Modellierung der aquatischen und Sorptions-Chemie von Aktinoiden
<b>02E9461</b> 01/01 bis 09/03	GRS Braunschweig	Untersuchung der chemischen und hydromechanischen Wechselwirkungen von Ton/Zement-Systemen
<b>02E9481</b> 04/01 bis 03/04	Universität Hannover	Einsatz von Organo-Tonen als Adsorber für problematische Anionen in geotechnischen Barrieren
<b>02E9491</b> 04/01 bis 03/04	Forschungszentrum Rossendorf	Wechselwirkung von Actiniden mit dominanten Bakterien des Äspö-Grundwasserleiters
<b>02E9803</b> 11/03 bis 10/06	Forschungszentrum Jülich GmbH	Untersuchungen zum Verhalten von Forschungsreaktor-Brennelementen (FR-BE) in den Wirtsgesteinsformationsgewässern möglicher Endlager
<b>02E9824</b> 01/04 bis 06/07	GRS Braunschweig	Advektiver und diffusiver Gastransport im Salzgestein im Forschungsbergwerk Asse (Kurztitel: Addigas)
<b>02E9884</b> 01/04 bis 12/07	GRS Braunschweig	Langzeitwechselwirkungen von Tonen und Zementen in Ton- und Salzformationen

<b>02E9985</b> 07/05 bis 10/08	Forschungs- zentrum Dres- den-Rossendorf	Mobilisierung von Actiniden durch mikrobiell produzierte Liganden unter Berücksichtigung der Endlagerung von radioaktivem Abfall
<b>02E10005</b> 07/05 bis 06/06	Institut für Si- cherheits- technologie (ISTec)	Auswertung von Modellierungsansätzen zum Gastransport in Tongesteinen (GASTON)
<b>02E10015</b> 08/05 bis 12/10	Technische Uni- versität Darm- stadt	Untersuchungen zum Gastransport in der Auflockerungszone in einem geologischen Endlager in Tongestein
<b>02E10025</b> 08/05 bis 11/08	Universität Han- nover	Stabilität von Organotonen als Anionen-Adsorber unter Endla- gerbedingungen - Experiment und Modellierung
<b>02E10126</b> 07/06bis 09/09	KIT (Großfor- schung)	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermody- namischen Referenzdatenbasis
<b>02E10136</b> 07/06bis 09/09	Forschungszen- trum Dresden- Rossendorf	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermody- namischen Referenzdatenbasis
<b>02E10146</b> 07/06bis 09/09	GRS Braunschweig	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermody- namischen Referenzdatenbasis
<b>02E10357</b> 04/07 bis 03/10	Forschungszen- trum Jülich	Wechselwirkung mobilisierter Radionuklide mit sekundären Phasen in endlagerrelevanten Formationswässern
<b>02E10387</b> 05/07 bis 04/09	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX
<b>02E10397</b> 05/07 bis 04/09	Öko-Institut e.V.	Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX
<b>02E10407</b> 05/07 bis 04/09	DBE Technology GmbH	Verbundprojekt: Chemisch-toxische Stoffe in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle - Kurztitel: CHEMOTOX
<b>02E10075</b> 10/05 bis 06/13	GRS Braunschweig	Thermodynamische Daten für Eisen(II) in hochsalinaren Lö- sungen bei Temperaturen bis 90°C (Kurztitel: FeT90)
<b>02E10608</b> 11/08 bis 06/14	GRS Braunschweig	Werkzeuge und Daten für die Geochemische Modellierung, Kurztitel: WeDa
<b>02E10618</b> 01/09 bis 12/12	Forschungszen- trum Dresden- Rossendorf	Mikrobielle Diversität im Tongestein (Opalinus-Ton) und Wechselwirkung dominanter Mikroorganismen mit Actiniden
<b>02E10699</b> 10/09 bis 03/13	KIT (Großfor- schung)	Verbundprojekt: Entwicklung einer einheitlichen, konsistenten thermodynamischen Referenzdatenbasis für Sicherheits- analysen zur Endlagerung nuklearer und nicht-nuklearer Ab- fälle – THEREDA-II; Teilprojekt KIT: Thermodynamische Da- tenbasis für Radionuklide
<b>02E10709</b> 10/09 bis 03/13	Technische Uni- versität Bergaka- demie Freiberg	Verbundprojekt: Entwicklung einer einheitlichen, konsistenten thermodynamischen Referenzdatenbasis für Sicherheits- analysen zur Endlagerung nuklearer und nicht-nuklearer Ab- fälle – THEREDA-II; Teilprojekt TUBAF: Ozeanische Salze und Carbonate

<b>02E10770</b> 07/10 bis 06/14	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld eines Endlagers und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA)
<b>02E10780</b> 07/10 bis 06/14	Forschungs- zentrum Jülich GmbH	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld eines Endlagers und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA)
<b>02E10790</b> 07/10 bis 06/13	Forschungs- zentrum Dres- den-Rossendorf e.V	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld eines Endlagers und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA)
<b>02E10790X</b> 07/13 bis 06/14	Helmholtz- Zentrum Dres- den-Rossendorf	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld eines Endlagers und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA)
<b>02E10800</b> 07/10 bis 06/14	KIT (Großfor- schung)	Verbundprojekt: Verhalten langlebiger Spalt- und Aktivierungsprodukte im Nahfeld eines Endlagers und Möglichkeiten ihrer Rückhaltung (VESPA)

#### **B4 Verhalten von geotechnischen Barrieren**

<b>KWA 5404/2</b> 06/84 bis 12/86	Siemens	Konzept für die Ermittlung der Rückhaltefähigkeit von Versatzmaterialien und Abschlussbauwerken gegenüber gasförmigen Radionukliden
<b>02U5836/5</b> 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
<b>02E8040/1</b> 07/90 bis 06/91	Uni Karlsruhe	Grundlagenuntersuchungen zu Salzhaufwerk mit Korndurchmessern bis 65 mm in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte und des Spannungsniveaus
<b>02E8211/A</b> 01/93 bis 12/95	GSF	Arbeiten zur Direkten Endlagerung von Brennelementen (Thermische Simulation der Streckenlagerung / TSS)
<b>02E8131/A</b> 07/94 bis 01/96	BGR	Geotechnische Untersuchungen im Rahmen des Demonstrationsversuchs Thermische Simulation der Streckenlagerung (TSS)
<b>02E8291/8</b> 07/91 bis 12/93	TU BAF	Untersuchungen zu Bohrlochverschlüssen und Verschlussmaterialien mit Dokumentation bisheriger Sorptionsergebnisse
<b>02E8462</b> 04/92 bis 12/95	TU BAF	Diffusions- und Permeabilitätsverhalten von Wasserstoff in Steinsalz und kompaktiertem Salzgrus
<b>02E8492</b> 04/92 bis 12/95	Battelle	Bestimmung des Diffusions- und Permeabilitätsverhaltens von Wasserstoff in Steinsalz und kompaktiertem Salzgrus
<b>02E8552/8</b> 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

<b>02E8715</b> 10/95 bis 06/99	GRS Braunschweig	Untersuchung der Langzeit-Dichtwirkung von Bohrlochverschlüssen aus Salzgrus (DEBORA-Projekt Phase 2)
<b>02E8805</b> 01/96 bis 03/00	GRS Braunschweig	Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar
<b>02E8876</b> 02/96 bis 04/99	TU BAF	Durchlässigkeitsverhalten von Steinsalzversatz bei gekoppeltem Einfluss von Fluidodynamik, Gebirgsmechanik und Lösungsvorgängen
<b>02E8886</b> 02/96 bis 04/99	BIG	Durchlässigkeitsverhalten von Steinsalzversatz gegenüber Laugen unter Berücksichtigung von zeitlich veränderlichen Überlagerungsdrücken und Lösungsvorgängen
<b>02E8956</b> 07/96 bis 08/99	GRS Braunschweig	Experimentelle und theoretische Untersuchung physikalisch-chemischer Vorgänge beim Laugenzutritt in Einlagerungsstrecken - theoretischer Teil -
<b>02E8966</b> 07/96 bis 08/99	Stoller	Experimentelle und theoretische Untersuchung physikalisch-chemischer Vorgänge beim Laugenzutritt in Einlagerungsstrecken - experimenteller Teil -
<b>02E8986</b> 07/96 bis 12/00	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur geochemischen Stabilität von Tonen in Endlagern und Untertagedeponien im Salzgestein
<b>02E9006</b> 01/97 bis 04/00	GRS Braunschweig	Gasfreisetzung und Migration im Boom-Clay von Mol im Projekt CORALUS
<b>02E9017</b> 01/97 bis 12/99	GRS Braunschweig	Untersuchungen zum Zweiphasenfluss und diffusiven Transport in Tonbarrieren und Tongesteinen
<b>02E9047</b> 05/97 bis 04/00	GRS Braunschweig	Wirksamkeit der Abdichtung von Versatzmaterialien - Geochemische Untersuchungen
<b>02E9057</b> 01/98 bis 07/01	K-UTEC	Wirksamkeit der Abdichtung von Versatzmaterialien – Techniks- und In-situ-Versuche am Dreistoffsystem polymineralisches Salzgestein-Versatzstoff-Fluid
<b>02E9228</b> 01/99 bis 03/00	BGR	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Verhalten von Versatz in Endlagerstrecken im Salinar
<b>02E9259</b> 04/00 bis 04/03	IfG-Leipzig	Untersuchungen des Spannungszustandes und des gebirgsmechanischen Verhaltens von Versatz und Wirtsgestein in Abhängigkeit von der Temperatur
<b>02E9269</b> 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“
<b>02E9279</b> 01/00 bis 02/04	GRS Braunschweig	Geoelektrische Untersuchungen der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt „Prototype Repository“
<b>02E9289</b> 04/00 bis 04/03	DBE	Versuchsaufwältigung und Rückgewinnung von Materialproben und Messeinrichtungen
<b>02E9330</b> 05/00 bis 04/03	TU-BAF	Untersuchungen der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen

<b>02E9340</b> 05/00 bis 04/03	Battelle	Untersuchungen der Durchlässigkeit von kompaktiertem Salzgrus und Salzgestein gegenüber Laugen bei HAW- und DE-typischen Temperaturen
<b>02E9390</b> 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
<b>02E9430</b> 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
<b>02E9561</b> 10/01 bis 09/04	GRS Braunschweig	Modellentwicklung zur Quellung hochkompakter Bentonite im Kontakt zu Lösungen unterschiedlicher Salinität im Temperaturbereich 25 - 120°C
<b>02E9713</b> 01/03 bis 12/04	GRS	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager - SB-Experiment - im Mt. Terri Untertage-labor (Vorprojekt)
<b>02E9743</b> 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
<b>02E9904</b> 01/04 bis 12/07	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Untersuchung des mechanischen Verhaltens von kompaktiertem Salzgrus im Kontakt mit dem Wirtsgestein
<b>02E10236</b> 11/06 bis 12/09	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung von THM-Modellen zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz
<b>02E10246</b> 11/06 bis 10/09	DBE Technology GmbH	Verbundprojekt: Überprüfung und Kalibrierung von THM-Modellen zur Beschreibung des Langzeitverhaltens der Auflockerungszone im Steinsalz
<b>02E10256</b> 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
<b>02E10437</b> 10/07 bis 12/10	Universität Bo- chum	Hydraulische Permeabilität von moderat bis hochverdichteten expansiven Tonen
<b>02E10477</b> 10/07 bis 03/09	GRS Braunschweig	Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager, Kurztitel: Repoperm
<b>02E10487</b> 10/07 bis 03/09	DBE Technology GmbH	Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager, Kurztitel: Repoperm
<b>02E10538</b> 05/08 bis 12/10	GRS Braunschweig	Experimentelle Untersuchungen und Modellierung der Wechselwirkungen Eisen - Bentonit, Kurztitel: Fe-Bentonit
<b>02E9894</b> 01/04 bis 12/11	GRS Braunschweig	Selbstdichtende Barrieren aus Ton/Mineral-Gemischen in einem Tonendlager - SB-Experiment - im Mt. Terri Untertage-labor - Hauptprojekt -

<b>02E9944</b> 08/04 bis 02/14	GRS Braunschweig	Geoelektrische Untersuchung der Aufsättigung von Bentonitbarrieren im HRL-Äspö-Projekt "Prototype Repository" - Phase 2
<b>02E10447</b> 10/07 bis 12/12	IBeWA Wilsnack & Partner	Zerstörungsfreie In-situ-Permeabilitätsmessung
<b>02E10649</b> 04/09 bis 12/11	DBE Technology GmbH	Vergütung der Auflockerungszone im Salinar (VerA)
<b>02E10659</b> 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
<b>02E10689</b> 09/09 bis 08/14	GRS Braunschweig	Long-Term Performance of Engineered Barrier Systems, Kurztitel: PEBS
<b>02E10730</b> 05/10 bis 10/14	DBE Technology GmbH	Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager
<b>02E10740</b> 05/10 bis 10/14	GRS Braunschweig	Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz in einem HAW-Endlager
<b>02E10880</b> 12/10 bis 09/14	Technische Uni- versität Bergaka- demie Freiberg	Zusammenhang von Chemismus und mechanischen Eigenschaften des MgO-Baustoffs
<b>02E11223</b> 08/13 bis 07/14	Technische Uni- versität Clausthal	Langzeitsicheres Abdichtungselement aus Salzschnittblöcken - Vorprojekt zur Kalkulation und Qualifizierung der Forschungsarbeiten

### **B5 Verhalten von geologischen Barrieren**

<b>KWA 3111/3</b> 07/81 bis 06/84	GSF	Sicherheitsstudie Entsorgung PSE II - Die Sorption von Radionukliden in oberflächennahen Böden der Bundesrepublik Deutschland
<b>KWA 5701/1</b> 01/87 bis 06/89	BAM	Untersuchung des Sorptionsmechanismus des Urans, Nikkels und Thoriums an Gesteinsoberflächen
<b>KWA 5801/9</b> 03/88 bis 12/90	BGR	Langzeitsicherheit der Barriere Salzstock
<b>02U5695/A/9</b> 07/87 bis 11/89	FU Berlin	Das Ausbreitungsverhalten von Technetium (Selen) in geochemisch unterschiedlichen Grundwasserleitern
<b>02U5695/9</b> 09/85 bis 06/87	FU Berlin	Bereitstellung gesicherter Sorptionsdaten für Technetium
<b>02U5705/2</b> 10/85 bis 12/88	TU Berlin	Untersuchung von Rückhalteeffekten im Barrierensystem Deckgebirge
<b>02U5745/5</b> 07/84 bis 09/87	TU Berlin	Erweiterung und Anwendung vorhandener Modellansätze zur Berechnung der Nuklidmigration in Unterschiedlichen Deckgebirgsformationen

<b>02U5826/7</b> 08/86 bis 07/89	TH Darmstadt	Untersuchungen zur Kolloidbildung in natürlichen Systemen und Einfluss der Kolloidbildung auf das Migrationsverhalten von Spurenelementen
<b>02U5958/0</b> 10/88 bis 03/92	TU München	Untersuchung der Übertragbarkeit von Laboraten (Löslichkeiten und Sorptionskoeffizienten) auf natürliche Verhältnisse am Beispiel von Gorleben-Aquifer-Systemen
<b>02U5917/7</b> 08/87 bis 12/88	TH Darmstadt	Literatúrauswertung über Untersuchungen zum möglichen Einfluss von Mikroorganismen auf die Ausbreitung von Radionukliden aus Endlagern
<b>02E8050/0</b> 07/90 bis 06/93	FU Berlin	Sorptionsexperimente zur Beeinflussung der Radionuklidmigration durch mikrobielle Aktivitäten am Beispiel des Technetiums, Selens und Jods
<b>02E8060/8</b> 07/90 bis 06/93	TU Berlin	Untersuchungen zur Methodik von Sterilisationsverfahren sowie der mikrobiologischen Überwachung von Sorptionsexperimenten
<b>02E8060/A</b> 10/93 bis 04/96	TU Berlin	Einfluss der autochthonen Mikroflora auf die Sorption und Remobilisierung des Technetiums und Selens
<b>02E8331/6</b> 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
<b>02E8341/4</b> 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
<b>02E8573</b> 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
<b>02E8583</b> 06/93 bis 01/97	TU München	Untersuchung der Übertragbarkeit von Laboraten (Löslichkeiten und Sorptionskoeffizienten) auf natürliche Verhältnisse am Beispiel von Gorleben Aquifersystemen
<b>02E8674</b> 10/94 bis 12/95	GRS Köln	Teilnahme am EVEGAS Benchmark Projekt
<b>02E8906</b> 05/96 bis 04/97	FU Berlin	Einfluss der autochthonen Mikroflora auf die Sorption und die Remobilisierung des Technetiums und Selens an verschiedenen Sedimenten
<b>02E8664</b> 10/95 bis 09/98	GSF	Geochemische Modellierung der Rückhaltung von Radionukliden der Elemente Sr, Cs, U, Am, Se und Ni in wassergesättigten Aquiferen
<b>02E8795</b> 11/95 bis 01/99	Uni Mainz	Einfluss von Huminstoffen auf das Migrationsverhalten radioaktiver und nichtradioaktiver Schadstoffe unter naturnahen Bedingungen

<b>02E8815</b> 11/95 bis 02/99	Forschungs- zentrum Ros- sendorf	Einfluss von Huminstoffen auf das Migrationsverhalten radioaktiver und nicht radioaktiver Stoffe unter naturnahen Bedingungen - Synthese, radiometrische Bestimmung funktioneller Gruppen, Komplexierung -
<b>02E9299</b> 01/00 bis 11/02	Forschungs- zentrum Ros- sendorf	Untersuchungen über die Komplexierung und die Migration von Aktiniden und nichtradioaktiven Stoffen mit Huminsäuren unter geogenen Bedingungen – Komplexierung von Huminsäuren mit Aktiniden in der Oxidationsstufe IV Th, U, Np
<b>02E9309</b> 01/00 bis 12/02	Universität Mainz	Untersuchungen über das Komplexierungsverhalten von Huminsäuren und deren Einfluss auf die Migration von radioaktiven und nichtradioaktiven Stoffen
<b>02E9329</b> 01/00 bis 02/03	IIF-Leipzig	Komplexierung und Migration von Al, Ga, In, Sc, Y, La und Schwermetallen mit Huminsäuren
<b>02E9360</b> 06/00 bis 05/03	Technische Uni- versität München	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden
<b>02E9471</b> 04/01 bis 03/04	Forschungs- zentrum Rossendorf	Entwicklung einer mineralspezifischen Sorptions-Datenbank für Oberflächenkomplexierungsmodelle
<b>02E9653</b> 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
<b>02E9663</b> 07/03 bis 08/06	Institut für Inter- disziplinäre Iso- topen-forschung	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
<b>02E9673</b> 07/03 bis 06/06	Forschungszent- rum 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
<b>02E9683</b> 07/03 bis 12/06	Universität des Saarlandes	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer- Kinetische Untersuchungen im System Huminsäure - Metall - Kaolinit
<b>02E9693</b> 07/03 bis 06/06	Technische Uni- versität München	Verbundprojekt: Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer - Quantenmechanische Modellierung der Komplexierung von Actiniden durch Huminstoffe
<b>02E9703</b> 07/03 bis 12/06	Universität Hei- delberg	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
<b>02E9753</b> 08/03 bis 09/06	Institut für Inter- disziplinäre Iso- topen-forschung	Untersuchung lokaler Schadstofftransport- und Sorptionsprozesse in Granit mit tomographischen Radiotracerverfahren
<b>02E9763</b> 11/03 bis 10/06	Technische Uni- versität München	Einfluss von Kolloiden auf die Migration von Actiniden

<b>02E9924</b> 04/04 bis 10/07	Universität Potsdam	Verbundprojekt: Spektroskopische Bestimmung von thermodynamischen und kinetischen Kenngrößen zur Beschreibung der Huminstoff-Metall-Komplexierung (Teil Antrag im Verbund "Migration von Actiniden im System Ton, Huminstoff, Aquifer")
<b>02E10035</b> 07/05 bis 09/08	Technische Universität München	Wechselwirkungen von Actiniden mit Anorgano-Huminkolloiden
<b>02E10116</b> 07/06 bis 03/10	GRS Braunschweig	Barriereintegrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs in Tonformationen
<b>02E10266</b> 09/06 bis 07/07	ISTec	Numerische Modellierung der Dilatanz induzierten, perkolativen Permeation in Salzgestein
<b>02E10156</b> 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
<b>02E10166</b> 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
<b>02E10176</b> 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
<b>02E10186</b> 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
<b>02E10196</b> 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
<b>02E10206</b> 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
<b>02E10216</b> 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
<b>02E10417</b> 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**

<b>KWA 2070/8</b> 04/80 bis 03/82	BGR	Entwicklung eines optimalen Finite Element Programms zur Berechnung thermomechanischer Vorgänge bei der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle
<b>KWA 2090/4</b> 07/80 bis 10/81	Control Data	Berechnung thermomechanischer Vorgänge im Salzgestein

<b>KWA 5317/6</b> 10/83 bis 12/84	BGR	ANSALT-Produktionssicherungssystem
<b>KWA 5408/6</b> 07/84 bis 03/90	GSF	Arbeiten zur Sicherheitsanalyse eines geologischen Endlagers. Untersuchung strömungsmechanischer und geochemischer Vorgänge sowie Weiterführung der Modellentwicklung
<b>KWA 5409/7</b> 07/84 bis 12/88	GSF	Aspekte der potentiellen Strahlenexposition der Bevölkerung aus Endlagern
<b>KWA 5911/4</b> 10/90 bis 12/91	Institut für Energetik und Umwelt (IfE)	Modelle zur numerischen Simulation der Radionuklid Ausbreitung bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle - 1. Arbeitsphase
<b>02U5937/3</b> 10/87 bis 09/90	Uni Hannover	Methodenentwicklung für Kluftwassersysteme
<b>02E8019/5</b> 02/90 bis 12/92	GSF	Potentielle Strahlenexposition der Bevölkerung und ihre Variabilität nach Austritt von Radionukliden aus Endlagern in nutzbare Grundwässer
<b>02E8320/7</b> 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
<b>02E8401/9</b> 02/91 bis 04/95	GRS Köln	Entwicklung und Umsetzung von Qualifizierungsstrategien für Rechencodes zum Nachweis der Langzeitsicherheit in der Endlagerung
<b>02E8522</b> 09/91 bis 12/95	GSF	Entwicklung eines eindimensionalen Nuklid ausbreitungsprogramms des Freisetzungsprogramms REPOS
<b>02E8532</b> 07/92 bis 12/95	GSF	Erarbeitung und Bewertung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Sicherheitsanalyse eines Endlagers in der Nachbetriebsphase
<b>02E8593/1</b> 08/93 bis 01/94	Institut für Energetik und Umwelt (IfE)	Manual und Testbericht zum Grundwassermodell GEOFIM
<b>02E8775</b> 01/96 bis 03/96	GRS Braunschweig	Erarbeitung und Bewertung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Sicherheitsanalyse eines Endlagers in der Nachbetriebsphase
<b>02E8705</b> 01/95 bis 07/98	BSH	Transportmechanismen radioaktiver Substanzen im Arktischen Ozean - Numerische und experimentelle Studien am Beispiel der Kara- und Barentssee
<b>02E8835</b> 01/96 bis 12/98	GRS Braunschweig	Weiterentwicklung des Rechenprogramms EMOS zur Durchführung von Langzeitsicherheitsanalysen
<b>02E8845</b> 01/96 bis 12/99	GRS Braunschweig	Aktualisierte Langzeitsicherheitsanalyse für wärmeerzeugende Abfälle im Salinar
<b>02E8855</b> 04/96 bis 01/00	GRS Braunschweig	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern

<b>02E8916</b> 04/96 bis 10/99	TU Clausthal	Mobilisierung und Immobilisierung endlagerrelevanter Elemente
<b>02E9037</b> 01/97 bis 06/00	BGR	Zweiphasenfluss-Experimente im geklüfteten wasserführenden Kristallin > Gastransport in geklüfteten teilgesättigten Gebirgen <
<b>02E9077</b> 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 <
<b>02E9148</b> 10/98 bis 06/03	GRS Braunschweig	Entwicklung eines Programms zur dreidimensionalen Modellierung des Schadstofftransportes
<b>02E9178</b> 01/99 bis 09/03	GRS Braunschweig	Aktualisierung sicherheitsanalytischer Rechenprogramme für Teilsysteme eines Endlagers (ARTE)
<b>02E9239</b> 02/00 bis 03/05	GRS Braunschweig	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern
<b>02E9370</b> 06/00 bis 05/03	Uni Stuttgart	Weiterentwicklung von Simulationstechniken für Gas-Wasser-Prozesse in geklüftet-porösen Medien auf der Feldskala
<b>02E9723</b> 07/03 bis 06/06	GRS	Kopplung von Transportmodellen mit thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen
<b>02E9844</b> 01/04 bis 12/07	GRS Braunschweig	NF-PRO 5, Process Couplings and Integration in Performance Assessment
<b>02E9934</b> 08/04 bis 01/08	GRS Braunschweig	Modellierung des großräumigen Schadstofftransports (Kurztitel: MOST)
<b>02E9954</b> 11/04 bis 07/08	GRS Braunschweig	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlager
<b>02E10276</b> 10/06 bis 03/10	GRS Braunschweig	Weiterentwicklung sicherheitsanalytischer Methoden zur Vorbereitung eines Safety Case in Deutschland
<b>02E10296</b> 10/06 bis 09/10	Universität Bonn	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d3f und r3t
<b>02E10306</b> 10/06 bis 09/10	Universität Freiburg	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d3f und r3t
<b>02E10316</b> 10/06 bis 09/10	Universität Jena	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d3f und r3t
<b>02E10326</b> 10/06 bis 03/11	Universität Frankfurt	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d3f und r3t
<b>02E10336</b> 10/06 bis 03/11	GRS Braunschweig	Verbundvorhaben: Weiterentwicklung der Rechenprogramme d3f und r3t
<b>02E10367</b> 04/07 bis 12/10	GRS Braunschweig	Anpassung des EMOS-Programmsystems an moderne Softwareanforderungen

<b>02E10467</b> 09/07 bis 06/10	Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH	Beschreibung des reaktiven Stofftransports in einem salinaren Endlager mit dem Code TOUGHREACT
<b>02E10518</b> 10/08 bis 03/12	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Realitätsnahe Einbindung von Sorptionsprozessen in Transportprogramme für die Langzeitsicherheitsanalyse (ESTRAL) - Teilvorhaben 1
<b>02E10528</b> 10/08 bis 03/12	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf	Verbundprojekt: Realitätsnahe Einbindung von Sorptionsprozessen in Transportprogramme für die Langzeitsicherheitsanalyse (ESTRAL) - Teilvorhaben 2
<b>02E10548</b> 08/08 bis 07/12	GRS Braunschweig	Wissenschaftliche Grundlagen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern - WiGru 6
<b>02E10558</b> 10/08 bis 03/13	GRS Braunschweig	Verbundprojekt: Abbildungen von Inhomogenitäten bei der Strömungs- und Transportmodellierung mit d3f und r3t - Teilprojekt 1 - Kurztitel A-DuR -
<b>02E10568</b> 10/08 bis 03/13	Universität Frankfurt	Verbundprojekt: Abbildungen von Inhomogenitäten bei der Strömungs- und Transportmodellierung mit d3f und r3t - Teilprojekt 2 - Kurztitel A-DuR -
<b>02E10578</b> 10/08 bis 03/13	Universität Jena	Verbundprojekt: Abbildungen von Inhomogenitäten bei der Strömungs- und Transportmodellierung mit d3f und r3t - Teilprojekt 3 - Kurztitel A-DuR -
<b>02E10588</b> 10/08 bis 03/13	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**

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

## **NN Evaluierung Forschungsaktivitäten**

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

<b>02E9793</b> 09/03 bis 09/08	Öko-Institut e.V.	Handbuch der Endlagerung - Umgang mit wärmeentwickelnden und langlebigen schwach- und mittelaktiven Abfällen
<b>02E10346</b> 01/07 bis 12/08	DBE Technology GmbH	Entwicklung und Umsetzung von technischen Konzepten für tiefe geologische Endlager in allen Wirtsgesteinen
<b>02E10498</b> 05/08 bis 04/09	GRS Braunschweig	Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz (Vorprojekt) - Kurztitel VIRTUS
<b>02E10628</b> 09/08 bis 04/10	Öko-Institut e.V.	Behandlung sozialwissenschaftlicher Aspekte im Safety Case
<b>02E10870</b> 10/10 bis 11/11	Öko-Institut e.V.	Instrumente, Bedarf und Potentiale für Wissensmanagement in der Endlagerforschung
<b>02E10890</b> 11/10 bis 10/14	GRS Braunschweig	Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz - VIRTUS
<b>02E10900</b> 11/10 bis 10/14	DBE Technology GmbH	Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz - VIRTUS
<b>02E10910</b> 11/10 bis 10/14	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)	Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz - VIRTUS
<b>02E11112</b> 09/12 bis 08/13	DBE Technology GmbH	Auswirkungen der Sicherheitsanforderungen Rückholbarkeit auf existierende Einlagerungskonzepte und Anforderungen an neue Konzepte (ASTERIX)
<b>02E11162</b> 09/12 bis 10/13	DBE Technology GmbH	Studie zur Partitionierung und Transmutation (P&T) hochradioaktiver Abfälle
<b>02E11172</b> 09/12 bis 10/13	GRS Braunschweig	Studie zur Partitionierung und Transmutation (P&T) hochradioaktiver Abfälle; Kurztitel P&T-Studie

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

### ***C1 Erstellung und Anpassung von Überwachungskonzepten***

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

### ***C2 Neue Techniken***

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

### ***C3 Aufnahme, Auswertung, Zusammenführung und Fernübertragung von Daten***

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

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

## **A4 Verzeichnis abgeschlossener Forschungsvorhaben (Projektförderung) zur untertägigen Entsorgung chemotoxischer Abfälle**

Im Folgenden sind die abgeschlossenen, BMBF-finanzierten Forschungsvorhaben (Stand 12/2011) 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 (AB) gehörenden Vorhaben aufgeführt.

### **A WEITERENTWICKLUNG VON UNTERTAGEDEPONIEKONZEPTIONEN UNTER SICHERHEITSGESICHTSPUNKTEN**

#### **A1 Abfallcharakterisierung und –klassifizierung**

<b>02C0051</b> 03/92 bis 05/95	GSF	Auswahl und Untersuchung untertagerelevanter Abfallarten
<b>02C0133</b> 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
<b>02C0284</b> 01/95 bis 12/95	GSF	Erprobung und Anpassung ökotoxikologischer Methoden zur Bewertung UTD-relevanter Abfall-Eluate
<b>02C0415</b> 01/96 bis 12/97	GRS Braunschweig	Erprobung und Anpassung ökotoxikologischer Methoden zur Bewertung UTD-relevanter Abfall-Eluate
<b>02C0506</b> 08/96 bis 07/99	GRS Braunschweig	Erweiterung und Übertragung von Untersuchungsmethoden für die untertägige Einbringung von Abfällen - Realitätsnahe Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des Langzeitverhaltens -
<b>02C0679</b> 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
<b>02C0689</b> 10/99 bis 09/04	GRS Braunschweig	Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien

#### **A2 Wissenschaftliche Grundlagen für Sicherheitsanforderungen**

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

### **A3 Weiterentwicklung von Einlagerungs-, Handhabungs- und Überwachungstechniken**

<b>02WS8845</b> 09/88 bis 12/88	NGS	Experimentaluntersuchungen zur Ablagerung von Abfällen in Salzkavernen - Teilvorhaben: Abfallerhebung und Projektdefinitionsphase
<b>02WA8937</b> 07/89 bis 09/92	NGS	Experimentaluntersuchungen zur Ablagerung von Abfällen in Salzkavernen
<b>02C0123</b> 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
<b>02C0143</b> 04/93 bis 03/94	BSM Beratungsgesellschaft für Umweltfragen	Systemanalytische Untersuchung zu Förder- und Einlagerungstechniken für die Untertägige Entsorgung von Rest- und Abfallstoffen
<b>02C0183</b> 10/93 bis 05/96	RWTH Aachen	Gegenüberstellung und vergleichende Bewertung unterschiedlicher Konzepte zur untertägigen Deponierung chem./tox. Abfälle
<b>02C0214</b> 01/94 bis 03/96	Uni Konstanz	Vergleich von oberirdischer und untertägiger Entsorgung umweltgefährdender Stoffe unter Berücksichtigung von Langzeiteffekten
<b>02C0334</b> 01/95 bis 01/96	K-UTEC	Entsorgung von Autoshreder-Leichtfraktion mit dem Dickstoffverfahren in untertägige Hohlräume des Kalibergbaus - Erarbeitung der Verfahrensgrundlagen -
<b>02C0486</b> 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**

<b>02C0011</b> 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
<b>02C0102</b> 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
<b>02C0204</b> 01/94 bis 12/95	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Auflockerungszone um Hohlräume im Steinsalzgebirge

<b>02C0425</b> 01/96 bis 03/98	GRS Braunschweig	Untersuchungen zur Auflockerungszone um Hohlräume im Steinsalzgebirge
<b>02C0527</b> 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
<b>02C0537</b> 10/97 bis 12/01	Fraunhofer-IzFP	Entwicklung und In-situ-Test akustischer Verfahren zur zerstörungsfreien Beurteilung von Auflockerungszonen im Salinar
<b>02C0588</b> 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
<b>02C0598</b> 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
<b>02C0820</b> 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
<b>02C0841</b> 07/01 bis 06/05	Technische Universität Clausthal	Herkunft und Migration mineralgebundener Gase in marinen Evaporiten
<b>02C0851</b> 07/01 bis 09/03	Fraunhofer-IzFP	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geosonar- und Ultraschallverfahren
<b>02C0861</b> 07/01 bis 12/03	Universität Leipzig	Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien - Geoelektrik, Seismik, Geologie
<b>02C0871</b> 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 -
<b>02C1074</b> 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"
<b>02C1084</b> 07/04 bis 08/08	Bergische Universität Wuppertal	Verbundvorhaben: "Entwicklung eines richtungssensitiven Georadar-Bohrlochmessverfahrens", Teilvorhaben: Entwicklung eines aktiven richtungssensitiven Bohrlochantennensystems
<b>02C1094</b> 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

<b>02C1184</b> 08/04 bis 05/08	Fraunhofer-IzFP	Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar
<b>02C1194</b> 08/04 bis 05/08	Technische Universität Ilmenau	Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Höchsthfrequenz-Radar
<b>02C1305</b> 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
<b>02C1315</b> 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
<b>02C1325</b> 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**

<b>02C0234</b> 03/94 bis 12/95	GSF	Schachtverschlüsse für untertägige Deponien in Salzbergwerken - Vorprojekt -
<b>02C0496</b> 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
<b>02C0516</b> 08/96 bis 09/02	Kali und Salz	Schachtverschlüsse für untertägige Deponien in Salzbergwerken - Forschungsvorhaben Schachtverschluß Salzdorf Schacht SA II
<b>02C0547</b> 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
<b>02C0699</b> 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
<b>02C0902</b> 01/02 bis 12/02	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Wissenschaftlich - technisches Programm für den Rückbau des in situ getesteten Versuchsverschlussbauwerkes in der Grube Sondershausen
<b>02C0922</b> 05/02 bis 06/09	Universität Fride-riciana zu Karlsruhe (TH)	Verschlussystem mit Äquipotenzialsegmenten für die untertägige Entsorgung (UTD und ELA) gefährlicher Abfälle zur Sicherstellung der homogenen Befeuchtung der Dichtelemente und zur Verbesserung der Langzeitstabilität

<b>02C0942</b> 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 Szenarienentwicklung**

<b>02C0314</b> 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 -
<b>02C0324</b> 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 -
<b>02C0344</b> 08/95 bis 04/97	Technische Universität Bergakademie Freiberg	Flutungsphänomene als Fluidbarriere

### **B2 Verhalten der Wirtsgesteinsformation**

<b>02C0062</b> 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
<b>02C0092</b> 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
<b>02C0264</b> 04/95 bis 12/99	IfG Leipzig	Untersuchungen zum Sprödbbruchverhalten von Carnallit und seiner Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit von UTD
<b>02C0274</b> 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
<b>02C0649</b> 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
<b>02C0720</b> 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

<b>02C0892</b> 01/02 bis 12/04	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar unter Berücksichtigung von Diskontinuitäts- und Schichtflächen
<b>02C0952</b> 10/02 bis 03/08	Technische Uni- versität Clausthal	Modellentwicklung zur Gaspermeation aus unterirdischen Hohlräumen im Salzgebirge
<b>02C1004</b> 04/04 bis 11/06	Dr. Andreas Hampel	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen - Teilvorhaben 1
<b>02C1014</b> 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
<b>02C1024</b> 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
<b>02C1034</b> 04/04 bis 11/06	Technische Uni- versität Clausthal	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen - Teilvorhaben 4
<b>02C1044</b> 04/04 bis 11/06	Universität Han- nover	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen - Teilvorhaben 5
<b>02C1054</b> 04/04 bis 11/06	KIT (Großfor- schung)	Verbundprojekt: Die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Steinsalz: Vergleich aktueller Stoffgesetze und Vorgehensweisen - Teilvorhaben 6
<b>02C1355</b> 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)
<b>02C1566</b> 10/06 bis 03/07	Technische Uni- versität Clausthal	Grundlagenuntersuchungen zur Unterdrückung der Auflockerungszone in Strecken des Salinar
<b>02C1577</b> 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
<b>02C1587</b> 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
<b>02C1597</b> 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
<b>02C1607</b> 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-  
wirkung 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)

<b>02C0710</b> 07/00 bis 09/04	GRS Braunschweig	Geochemisches Modell für Zn, Cd und Pb in salinaren Lösungen aus AbfalldPONen und Alt- und Umweltlasten
<b>02C0912</b> 05/02 bis 12/05	GRS Braun- schweig	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien Kurztitel: SiAl
<b>02C0963</b> 10/03 bis 10/05	GRS Braun- schweig	Erfassung und Bewertung der chemischen und physikalischen Analysenergebnisse von Salzlösungszuflüssen im Salzbergbau Mitteldeutschlands (Kurztitel: Laugen Mitteldeutschland)
<b>02C0973</b> 09/03 bis 01/07	GRS Braun- schweig	Entwicklung einfacher Strategien zur Reduzierung der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen aus untertägig abgelagerten Abfällen
<b>02C0983</b> 09/03 bis 09/07	GRS Braun- schweig	Komplettierung der Datenbasis zur Modellierung der Schwermetallmobilisierung in salinaren Systemen
<b>02C0993</b> 09/03 bis 10/08	GRS Braun- schweig	Geochemische Modellierung des Langzeitverhaltens von silikatischen und aluminosilikatischen Materialien im Temperaturbereich 30°C bis 90°C
<b>02C1244</b> 04/05 bis 09/09	GRS Braun- schweig	Prognose der Redoxeeigenschaften natürlicher wäßriger Lösungen
<b>02C1254</b> 01/05 bis 03/09	GRS Braun- schweig	Geochemische Barriereeffizienz im anaeroben Deponienahfeld einer UTD
<b>02C1426</b> 07/06 bis 09/09	GRS Braun- schweig	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis
<b>02C1436</b> 07/06 bis 09/09	Forschungs- zentrum Dresden- Rossendorf	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis
<b>02C1446</b> 07/06 bis 09/09	Technische Uni- versität Bergaka- demie Freiberg	Verbundvorhaben THEREDA: Entwicklung einer Thermodynamischen Referenzdatenbasis
<b>02C1628</b> 01/09 bis 12/11	GRS Braunschweig	Werkzeuge und Daten für die Geochemische Modellierung - Phase 2, Kurztitel: WEDA

#### **B4 Verhalten von geotechnischen Barrieren**

<b>02C0304</b> 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
<b>02C0193</b> 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
<b>02C0659</b> 07/99 bis 12/01	GRS Braunschweig	Langzeitstabilität von Tondichtungen in Salzformationen

<b>02C0669</b> 10/99 bis 03/03	GRS Braunschweig	Hydraulische Kennwerte von tonhaltigen Mineralgemischen zum Verschluss von Untertagedeponien
<b>02C0800</b> 11/00 bis 01/04	MFFPA an der Bauhaus- Universität Wei- mar	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlußbauwerken in salinärer Umgebung
<b>02C0810</b> 11/00 bis 10/03	Forschungs- zentrum Karlsruhe GmbH	Entwicklung eines Messsystems zur Feuchtemessung in Bentonit-Abschlußbauwerken in salinärer Umgebung
<b>02C0830</b> 11/00 bis 10/04	GRS Braunschweig	Weiterentwicklung eines selbstverheilenden Salzversatzes als Komponente im Barriersystem Salinar
<b>02C0881</b> 08/01 bis 07/04	Bauhaus- Universität Wei- mar	Experimentelle und numerische Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Abschlussbauwerken im Salinar mit Bentonitgemischen als Dichtelement
<b>02C1064</b> 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 Bentonitversuchsbauwerken
<b>02C1104</b> 08/04 bis 12/08	Bauhaus- Universität Wei- mar	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme
<b>02C1114</b> 01/05 bis 12/08	Eberhard-Karls- Universität Tü- bingen	Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Abschlussbauwerken: Thermo-Hydro-Mechanisch-Chemisch gekoppelte Systeme
<b>02C1124</b> 10/04 bis 09/08	Technische Uni- versität Bergaka- demie Freiberg	Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke
<b>02C1134</b> 07/04 bis 10/08	Technische Uni- versität Clausthal	Untersuchungen an Calciumsulfat-Steinsalz-Baustoffen für Dammbauwerke in Unter-Tage-Deponien und Endlagern
<b>02C1204</b> 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
<b>02C1214</b> 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
<b>02C1224</b> 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

<b>02C1234</b> 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
<b>02C1275</b> 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
<b>02C1285</b> 05/05 bis 03/09	GRS Braun- schweig	Verbundprojekt: Kopplung numerischer Modelle für C:HM-Transportprozesse. Teilprojekt GRS: Laborversuche und Geochemische Modellierung
<b>02C1295</b> 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
<b>02C1335</b> 06/05 bis 02/10	GRS Braun- schweig	Qualifizierung von Strömungsbarrieren in Salzformationen, Phase 1 bis Phase 4
<b>02C1395</b> 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
<b>02C1405</b> 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
<b>02C1415</b> 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
<b>02C1638</b> 01/09 bis 12/11	GRS Braunschweig	Bentonit als Barrierematerial für den Abschluss von Untertagedeponien – Abschließende Versuche und eine Zusammenstellung von Wissenschaft und Technik (Kurztitel: Bentonit-Barrieren)

## **B5 Verhalten von geologischen Barrieren**

<b>02C0558</b> 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
<b>02C0568</b> 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
<b>02C0578</b> 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
<b>02C0618</b> 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)
<b>02C0639</b> 01/00 bis 12/01	IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH	Prognose der dynamischen Langzeitstabilität von Grubengebäuden im Salinar
<b>02C0709</b> 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
<b>02C0932</b> 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)
<b>02C1144</b> 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)
<b>02C1154</b> 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)
<b>02C1164</b> 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)
<b>02C1174</b> 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)

<b>02C1264</b> 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
<b>02C1456</b> 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**

<b>02C0153</b> 07/93 bis 12/95	GSF	Entwicklung eines Nahbereichsmodells für Langzeitsicherheitsanalysen von Salzkavernen mit chem./tox. Abfällen
<b>02C0224</b> 01/94 bis 03/98	GRS Köln	Entwicklung und Anwendung analytischer Methoden zur Eignungsuntersuchung der Verbringung bergbaufremder Rückstände in dauerhaft offene Grubenräume im Festgestein
<b>02C0244</b> 04/94 bis 08/97	Technische Uni- versität Bergaka- demie Freiberg	Entwicklung von Verfahren und Programmen zur Kalibrierung von Strömungs- und Transportmodellen
<b>02C0254</b> 10/94 bis 12/95	GSF	Entwicklung eines schnellen Programms zur Modellierung von Grundwasserströmungen mit variabler Dichte
<b>02C0365</b> 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
<b>02C0455</b> 01/96 bis 06/96	GRS Braunschweig	Entwicklung eines Nahbereichsmodells für Langzeitsicherheitsanalysen von Salzkavernen mit chem./tox. Abfällen
<b>02C0465</b> 01/96 bis 03/98	GRS Braunschweig	Entwicklung eines schnellen Programms zur Modellierung von Grundwasserströmungen mit variabler Dichte
<b>02C0628</b> 01/99 bis 03/03	GRS Braunschweig	Modellrechnungen zur großräumigen dichteabhängigen Grundwasserbewegung
<b>02C1345</b> 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**

<b>02C0113</b> 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
<b>02C0354</b> 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
<b>02C0375</b> 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)**

<b>02C0730</b> 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
<b>02C0740</b> 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
<b>02C0750</b> 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
<b>02C0760</b> 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 Altablagerungen, Gesamtbewert. Gefährdungspotent.
<b>02C0770</b> 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
<b>02C0780</b> 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
<b>02C1466</b> 09/06 bis 12/10	Brandenburgische Technische Universität Cottbus	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV1: Hydrologie und Geochemie des Gesamtsystems
<b>02C1476</b> 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
<b>02C1486</b> 09/06 bis 12/10	Technische Universität Clausthal	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV3: Geomechanische Modellierung
<b>02C1496</b> 09/06 bis 12/10	Kali-Umwelttechnik GmbH vorm. Kaliforschungsinstitut	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV4: Grundlagen für die Geomodellierung

<b>02C1506</b> 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
<b>02C1516</b> 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
<b>02C1526</b> 09/06 bis 12/10	Johannes Gutenberg-Universität Mainz	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV7: Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität
<b>02C1536</b> 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
<b>02C1546</b> 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
<b>02C1556</b> 09/06 bis 12/10	Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LI-AG)	Verbundprojekt: Dynamik abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirgsstockwerkes; TV10: Isotopenhydrologische Untersuchungen

## A5 Fördermittel und -modalitäten

### 1. Zuwendungsempfänger / Auftragnehmer

Antragsberechtigt sind staatliche und nichtstaatliche Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen sowie Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft (mit Sitz und überwiegender Ergebnisverwertung in Deutschland). Forschungseinrichtungen, die gemeinsam von Bund und Ländern grundfinanziert werden, kann nur unter bestimmten Voraussetzungen ergänzend zu ihrer Grundfinanzierung eine Projektförderung für ihren zusätzlichen Aufwand bewilligt werden. Unternehmen können bei bestehendem Eigenbedarf des Bundes für die FuE-Aktivitäten beauftragt werden. Die Beteiligung kleiner und mittlerer Unternehmen ist ausdrücklich erwünscht. Es kommt die KMU-Definition gemäß Empfehlung der EU-Kommission vom 06.05.2003 zur Anwendung.

### 2. Zuwendungsvoraussetzungen / Auftragsvergabe

Die beantragten Forschungsarbeiten sollen als Einzelvorhaben oder als Forschungsverbünde in enger Kooperation zwischen den beteiligten Forschungsstellen durchgeführt werden und möglichst effizient zur Schaffung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen zur nuklearen Entsorgung beitragen. Die Antragsteller / Anbieter müssen organisatorisch-planerische Expertise besitzen, die durch einschlägige Vorarbeiten nachzuweisen ist. Es ist sicher zu stellen, dass die Ergebnisse der Förderprojekte einer Nutzung und Verwertung wirtschaftlicher oder wissenschaftlicher Art zugeführt werden.

Die Partner eines Verbundvorhabens haben ihre Zusammenarbeit in einer Kooperationsvereinbarung zu regeln. Vor der Förderentscheidung muss eine grundsätzliche Übereinkunft der Kooperationspartner über vorgegebene Kriterien nachgewiesen werden.

Antragsteller / Anbieter sollen sich mit dem EU-Forschungsrahmenprogramm vertraut machen. Sie sollen prüfen, ob das beabsichtigte Vorhaben spezifische europäische Komponenten aufweist und damit eine ausschließliche EU-Förderung möglich ist. Weiterhin sollen Antragsteller / Anbieter prüfen, in wie weit ergänzend ein Förderantrag bei der EU-Kommission gestellt werden kann. Überlegungen und Planungen dazu sind mit dem Antrag auf Bundeszuwendung darzustellen.

### 3. Art, Umfang und Höhe der Aufträge und Zuwendungen

Für die projektgeförderte FuE zur nuklearen Entsorgung stehen aktuell (Stand 2014) rund 10 Millionen Euro Projektfördermittel zur Verfügung. Die Forschungsvorhaben von Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft werden aufgrund des bestehenden Eigenbedarfs des Bundes als Aufträge auf der Basis der BEBF 98 gefördert. Zuwendungen an Hochschulen können im Wege der Projektförderung als nicht rückzahlbare Zuschüsse für FuE-Vorhaben gewährt werden.

Bemessungsgrundlage für Zuwendungen an Hochschulen, Forschungs- und Wissenschaftseinrichtungen und vergleichbare Institutionen sind die zuwendungsfähigen projektbezogenen Ausgaben (bei Helmholtz-Zentren und der Fraunhofer-Gesellschaft die zuwendungsfähigen projektbedingten Kosten), die individuell bis zu 100% gefördert werden können. Bemessungsgrundlage für Zuwendungen an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft sind die zuwendungsfähigen projektbezogenen Kosten, die in der Regel zu 100 % vollfinanziert werden können.

Die Bemessung der jeweiligen Förderquote muss den Gemeinschaftsrahmen der EU-Kommission für staatliche Beihilfen für Forschung, Entwicklung und Innovation (FEul-Beihilfen) berücksichtigen.

### 4. Sonstige Zuwendungsbestimmungen

Die allgemeinen und besonderen Nebenbestimmungen des BMWi werden Bestandteil der Zuwendungsbescheide. Für Zuwendungen auf Ausgabenbasis sind dies die Allgemeinen Nebenbestimmungen für Zuwendungen zur Projektförderung (ANBest-P) und die Besonderen Nebenbestimmungen für Zuwendungen des BMBF zur Projektförderung auf Ausgabenbasis (BNBest-BMBF 98). Für Zuwendungen auf Kostenbasis sind grundsätzlich die Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Kostenbasis des BMWi an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (NKBF 98) relevant.

### 5. Verfahren

#### 5.1. EINSCHALTUNG VON PROJEKTTRÄGERN

Die Antragsberatung und Projektbetreuung für den **FuE-Bereich 1 Abfall und Behälter** wird vom

#### **Projektträger GRS**

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
Schwertnergasse 1  
50667 Köln  
Frau Dr. Katharina Stummeyer  
Tel.: +49 (0)221-2068720  
Fax: +49 (0)221-2068629  
E-Mail: [katharina.stummeyer@grs.de](mailto:katharina.stummeyer@grs.de)  
Internet: <http://www.grs.de/content/projekttraegerschaft>

und für die **FuE-Bereiche 2 – 6** vom

#### **Projektträger Karlsruhe**

Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)  
Herrmann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen  
Herr Dr. Horst Pitterich  
Tel.: +49 (0)721-60825790  
Fax: +49 (0)721-60827790  
E-mail: [horst.pitterich@kit.edu](mailto:horst.pitterich@kit.edu)  
Internet: <http://www.ptka.kit.edu/>

wahrgenommen.

Vordrucke für Förderanträge, Richtlinien und Merkblätter, Hinweise und Nebenbestimmungen sind im Internet abrufbar. Zur Erstellung von Projektskizzen und förmlichen Förderanträgen (s. unter Nr. 5.2.2) wird die Nutzung des elektronischen Antragssystems „easy“ („easy-online“) dringend empfohlen (<https://foerderportal.bund.de/easy/>).

Es wird empfohlen, vor Einreichung der Unterlagen mit den beauftragten Projektträgern Kontakt aufzunehmen.

## 5.2. VORLAGE VON PROJEKTSKIZZEN

Das Förderverfahren ist zweistufig angelegt, wobei in der ersten Verfahrensstufe eine fachliche Begutachtung der Projektskizzen durch externe Sachverständige realisiert wird.

### 5.2.1. VORLAGE UND AUSWAHL VON PROJEKTSKIZZEN

In der ersten Verfahrensstufe ist dem Projektträger eine aussagekräftige und begutachtungsfähige Projektskizze (bestehend aus der easy-Skizze und der Vorhabenbeschreibung) in schriftlicher Form auf dem Postweg und in elektronischer Form auf einem Speichermedium bzw. als E-Mail vorzulegen. Bei Verbundprojekten legt der Koordinator eine mit den Verbundpartnern abgestimmte Verbundskizze vor.

Aus der Vorlage einer Skizze kann kein Rechtsanspruch auf Förderung des Vorhabens abgeleitet werden.

Die etwa 5 bis 15 Seiten umfassende Skizze soll ein Vorhaben beschreiben, das auf eine Bearbeitungszeit von drei bis maximal 5 Jahren ausgerichtet ist. Die Arbeitspakete sind unter Angabe von Meilensteinen zu strukturieren. Die Aufgabenstellung, Lösungswege und wesentliche Projektziele sind darzustellen. Die Aufwendungen für die Bearbeitung des geplanten Vorhabens und die beantragten Fördermittel sind anzugeben.

Die Skizze muss eine Bewertung nach folgenden Auswahl- und Entscheidungskriterien erlauben:

#### **Programmbezug:**

Das Arbeitsprogramm und die Ziele des Vorhabens müssen in klarem Bezug zur Fördermaßnahme stehen. Es ist darzulegen, welchen Beitrag das Vorhaben zur Klärung sicherheitsrelevanter Fragestellungen auf dem Gebiet der Reaktorsicherheit bzw. der sicheren Entsorgung nuklearer Abfallstoffe liefert. Das Thema des Vorhabens und die wissenschaftlichen Ziele sind klar und eindeutig zu formulieren. Thematische und organisatorische Bezüge zu Projekten, die durch die Bundesregierung auf den genannten Gebieten gefördert werden, sind aufzuzeigen.

#### **Beitrag zur Fördermaßnahme (allgemeiner, übergeordneter Nutzen):**

Das Vorhaben leistet einen nachhaltigen Beitrag zur Schaffung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen der nuklearen Entsorgung und der nuklearen Sicherheitsforschung, zur Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheits- und Entsorgungsforschung in Deutschland, zum Kompetenzerhalt und zur Nachwuchsförderung.

#### **Problembeschreibung:**

Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens sind sowohl aus Nutzersicht als auch aus der Sicht der Wissenschaft beschrieben. Die ausgewählte Vorgehensweise und die einzusetzenden Methoden sind der Aufgabenstellung angemessen gewählt.

#### **Arbeitsprogramm:**

Das Arbeitsprogramm ist klar gegliedert und zeigt an kritischen Stellen (Meilensteine) alternative Lösungsansätze auf. Die Planung lässt erwarten, dass innerhalb des Förderzeitraums die Aufgabenstellung bewältigt und das Vorhaben insgesamt erfolgreich abgeschlossen sein wird.

#### **Koordinierung und Ressourcen:**

Die Koordinatoren und Projektleiter geplanter Verbünde oder Vorhaben besitzen die zur Bearbeitung der jeweiligen Aufgaben erforderlichen, durch Publikationen oder Patente belegten Kompetenzen. Die beantragten Fördermittel sind für die Durchführung des Vorhabens über die Eigenbeiträge der Projektpartner hinaus zwingend erforderlich.

#### **Stand von Forschung und Technik:**

Der internationale Stand von Wissenschaft und Technik zur Durchführung des Vorhabens ist in der Skizze angegeben und durch wenige relevante und möglichst aktuelle Zitate belegt.

#### **Ergebnisverwertung, Nutzen:**

Die Verwertung der erwarteten Ergebnisse und der daraus resultierende Nutzen sind in einem Verwertungsplan zu dokumentieren, der insbesondere Angaben zum erwarteten Nutzen in den Bereichen Wissenschaft, Technik und Gesellschaft, zum Kompetenzerhalt und zum Erfolg der Nachwuchsförderung in Deutschland enthält.

Die Skizze wird auf der Grundlage dieser und der unter Ziffer 4 genannten Zuwendungsvoraussetzungen ggf. unter Hinzuziehung von externen Gutachtern bewertet. Unter Berücksichtigung dieser Entscheidungsgrundlage werden die für eine Förderung geeigneten Projektvorschläge ausgewählt. Das Ergebnis wird dem Projektleiter oder Verbundkoordinator durch den Projektträger schriftlich mitgeteilt. Die Partner eines Verbundprojekts werden über den Koordinator informiert. Auf die Rückgabe einer eingereichten Projektskizze besteht kein Rechtsanspruch.

### 5.2.2. VORLAGE FÖRMLICHER FÖRDERANTRÄGE / ANGEBOTE UND ENTSCHEIDUNGSVERFAHREN

In der zweiten Verfahrensstufe werden die Verfasser positiv bewerteter Projektskizzen aufgefordert, ggf. in Abstimmung mit dem vorgesehenen Verbundkoordinator, einen förmlichen Förderantrag bzw. ein Angebot vorzulegen, über den bzw. das nach abschließender Prüfung durch BMWi und Projektträger entschieden wird.

Für die Bewilligung, Auszahlung und Abrechnung der Zuwendung sowie für den Nachweis und die Prüfung der Verwendung und die ggf. erforderliche Aufhebung des Zuwendungsbescheides und die Rückforderung der gewährten Zuwendung gelten die Verwaltungsvorschriften zu § 44 BHO sowie §§ 48 bis 49a Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG), soweit nicht in diesen Förderrichtlinien Abweichungen zugelassen sind.