niedersächsische technische hochschule

Eingereicht 11.07.2012, aktualisiert* 18.9.2013

Vorhabenbeschreibung zur Bildung einer Forschungsplattform#

Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen

Verbundprojekt von Mitgliedern der NTH und Partnerinstituten von KIT, FU Berlin, CAU, risicare (Unterauftragsnehmer)

* Adressen aktualisiert, Mitarbeiter anonymisiert (bis auf Projektleiter), aus Datenschutzgründen, Tabellen der Mittelverteilungen entfernt, da diese Rückschlüsse auf individuelle Eingruppierungen zulassen würden.

Inhalt

1 Kenndaten 7

1.1 Kurzfassung 7

1.2 Federführung / Arbeitsgruppe 10

1.3 Liste der Teilprojekte, Projektleiter und jeweils beteiligten Einrichtungen 13

2 Grundlagen 15

2.1 Langfristige Forschungsziele 18

2.2 Konzeptioneller Ansatz 19

2.3 Bezug zum Förderkonzept des BMBF 24

2.4 Stellung der geplanten Wissenschaftsplattform 25

2.5 Beirat 25

2.6 Beschreibung des Arbeitsprogramms 26

2.6.1 Forschung 27

2.6.2 Kommunikation 28

2.6.3 Evaluation 30

2.7 Vergleichbare Aktivitäten im In- und Ausland 30

2.8 Institutionelle Basis 30

2.8.1 Institut für Endlagerforschung (IELF), Technische Universität Clausthal (TUC) 30

2.8.2 Institut für Rechtswissenschaften (IRW), Technische Universität Braunschweig (TUBS) 31

2.8.3 Institut für Radioökologie und Strahlenschutz (IRS), Leibniz Universität Hannover (LUH) 32

2.8.4 Institut für Werkstoffkunde (IW), Leibniz Universität Hannover (LUH) 33

2.8.5 Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig (TUBS) 34

2.8.6 risicare GmbH 34

2.8.7 Institut für Nukleare Entsorgung (INE), Karlsruher Institut für Technologie (KIT) 34

2.8.8 Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie (KIT) 35

2.8.9 Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik (IFAD), Technische Universität Clausthal (TUC) 36

2.8.10 Institut für Botanik und Landschaftsökologie (IBL), Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald (EMAUG), Professur für Umweltethik* 37

2.8.11 Forschungszentrum für Umweltpolitik (FFU) Freie Universität Berlin (FUB) . 37

2.8.12 Institut für Grundbau und Bodenmechanik (IGB), Technische Universität Braunschweig (TUBS) 38

2.9 Kompetenzaufbau und -erhalt 39

2.10 Gleichstellung 40

3 Teilprojekte 42

3.1 Transversalprojekt „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“ 42

3.1.1 AP „Vernetzung, Koordination und Kommunikation“ (TUC, Institut für Endlagerforschung) 43

3.1.2 AP „Interdisziplinäre Synthese und Bewertung“ (TUC, Institut für Endlagerforschung) 43

3.2 Transversalprojekt „Technikfolgenabschätzung und Governance“ 46

3.2.1 AP „Governance zwischen Wissenschaft und öffentlichem Protest“ (KIT, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse) 47

3.2.2 AP „ Nukleare Entsorgung aus Multi-Level-Governance-Perspektive“ (FUB, Forschungszentrum für Umweltpolitik) 48

3.2.3 AP „Kritische Evaluation der AVV zu §47 StrlSchV“ (LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz) 52

3.2.4 AP „Wissensstand und Einschätzung in der Bevölkerung“ (LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz) 52

3.3 Transversalprojekt „Ethisch-moralische Begründung, rechtliche Voraussetzungen und Implikationen“ 54

3.3.1 AP „Umweltethik“ (CAU, Institut für Philosophie und Ethik der Umwelt)..... 55

3.3.2 AP „Verfassungsrechtliche Anforderungen und verwaltungsrechtliche Implikationen“ (TUBS, Institut für Rechtswissenschaften)..... 56

3.4 Transversalprojekt „Interdisziplinäre Risikoforschung“..... 58

3.4.1 AP „Langzeitsicherheit von Tiefenlagern“ (TUC, Institut für Endlagerforschung) 59

3.4.2 AP „Vergleich der radiologischen Gefährdung“ (LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz) 61

3.4.3 AP „Interdisziplinäre Risikoforschung“ (RISICARE) 62

3.4.4 AP „Radionuklidquellterme für verschiedene Entsorgungsoptionen“ (KIT, Institut für Nukleare Entsorgung) 64

3.4.5 AP „Individuelle Dosimetrie für Beschäftigte in Entsorgungsanlagen“ (KIT, Institut für Nukleare Entsorgung) 67

3.4.6 AP „Einfluss der Radionuklidspeziation auf Transferfaktoren“ (LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz)..... 69

3.5 Vertikalprojekt „Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit (wartungsfreie Tiefenlagerung“) 70

3.5.1 AP „THM-gekoppelte Nahfeld-Prozesssimulation im Salinargebirge“ (TUC, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik)..... 71

3.5.2 AP „THM-gekoppelte Nahfeld-Prozesssimulation im Tonsteingebirge“ (TUC, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik)..... 75

3.5.3 AP „Numerische Modellierung von THMC-Prozessen“ (TUC, Institut für Endlagerforschung) 78

3.6 Vertikalprojekt „Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit“..... 80

3.6.1 AP „Geotechnische Bewertung von Endlagerkonzepten mit der Option zur Rückholbarkeit“ (TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik) 85

3.6.2 AP „Monitoringbasiertes Life-Cycle-Engineering“ (TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik) 86

3.6.3 AP „Risikoanalytische Bewertung geotechnischer Schutzsysteme“ (TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik) 87

3.6.4 des Life-Cycle-Engineerings und der risikoanalytischen Betrachtung von Tiefenlagern mit der Option zur Rückholbarkeit“ (TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik) 88

3.6.5 AP „Beurteilung von Langzeitstabilität“ (LUH, Institut für Werkstoffkunde) ... 90

3.6.6 AP „Interventionstechniken zur sicheren Rückholbarkeit“ (LUH, Institut für Werkstoffkunde) 90

3.6.7 AP „In-situ-Datenerhebung und Demonstration in der Überwachungsphase eines Tiefenlagers“ (TUC, Institut für Endlagerforschung und Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik) 91

3.7 Vertikalprojekt „Oberflächenlagerung“ 93

3.7.1 AP „Bautechnische Konzepte“ (TUBS, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz) 96

3.7.2 AP „Probabilistisches, monitoringbasiertes Sicherheits- und Life-Cycle-Konzept“ (TUBS, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz) 97

3.7.3 AP „Anforderungen aufgrund von Abfallbehandlungsmethoden“ (TUBS, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz) 97

4 Interdisziplinäre Vernetzung: Integrierende Aufgabenstellungen 99

4.1 Performance und radiologische Konsequenz 101

4.2 Governance- und Konfliktanalyse in nationaler und internationaler Perspektive 102

4.3 Sicherheit und Risikowahrnehmung 102

4.4 Monitoring 104

4.5 Außenkommunikation 105

Anhang: Interdisziplinäre Untersuchung, Bewertung und Umsetzung von Entsorgungsstrategien durch internationale und nationale Organisationen 106

1 Internationale Atomenergieorganisation IAEA / IAEO 106

2 Kernenergieorganisation der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD/NEA) 108

3 Europäische Union 110

4 Nationale Entsorgungsprogramme 110

5 Deutschland 114

1 Kenndaten

1.1 Kurzfassung

Der Titel der beantragten Forschungsplattform lautet:

„Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen“.

Die Entsorgung radioaktiver, insbesondere wärmeentwickelnder Reststoffe hat sich in Deutschland zu einem Themenkomplex entwickelt, der nicht mehr allein technisch-naturwissenschaftlich angegangen werden kann. Nicht nur die Vielzahl denkbarer Entsorgungsoptionen und –varianten, sondern auch die sich hieraus ergebenden gesellschaftlichen, rechtlichen und ethischen Aspekte bedingen die Notwendigkeit einer umfassenden, interdisziplinär geprägten multikriteriellen Bewertung.

Die beantragte Forschungsplattform zielt daher auf eine Förderung des wissenschaftlichen Austauschs und der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen mit der Entsorgung radioaktiver Reststoffe befassten Natur-, Ingenieur-, Geistes-, Rechts-, und Sozialwissenschaftlern, auf die Durchführung einschlägiger Forschung sowie auf eine disziplinäre und interdisziplinäre Aus- und Weiterbildung wissenschaftlichen Nachwuchses.

Die vorgeschlagenen Forschungsthemen sollen als Beiträge zu einer ganzheitlichen Beurteilung von Fragen der Entsorgung radioaktiver Reststoffe verstanden werden, wobei der Schwerpunkt auf dem integrativen Aspekt zwischen technisch/naturwissenschaftlichen und nicht-technischen Wissenschaften liegt. *Die einzelnen Arbeitsschwerpunkte sind komplementär zur bereits vom Bund geförderten Entsorgungs- und Endlagerforschung definiert.*

Die Plattform leistet einen Beitrag zur Heranbildung von im Bereich der nuklearen Entsorgung dringend benötigten Nachwuchskräften, denen neben einer disziplinären Ausbildung auch das Bewusstsein für über Disziplingrenzen hinausgehende Fragestellungen und Zusammenhänge sowie Kenntnisse zu Sicht- und Arbeitsweisen anderer Disziplinen vermittelt werden.

Die Wissenschaftsplattform führt keine Auftragsforschung aus, sondern versteht sich als Ort frei ausgeübter Wissenschaft, Forschung und Lehre. Sie arbeitet in kontinuierlicher Wahrnehmung der Diskussionen und Prozesse in Wissenschaft, Gesellschaft und Politik und berücksichtigt aktuelle Entwicklungen bei der Ausrichtung der Forschungsarbeit.

Ausgehend vom aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik zur nuklearen Entsorgung wird disziplinäre und multidisziplinäre Forschung zu ausgewählten Themen im Zusammenhang mit den folgenden drei Schlüsseloptionen für die Entsorgung radioaktiver Reststoffe betrieben:

- Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit („wartungsfreie Tiefenlagerung“)
- Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit („Tiefenlagerung mit Rückholbarkeit“)
- Oberflächenlagerung.

Eigene Forschungstätigkeiten im Bereich der Abtrennung (Partitioning) und Transmutation von Radionukliden sind gegenwärtig nicht vorgesehen.

Innovativ ist dabei die in der gemeinsamen und vernetzten wissenschaftlichen Bearbeitung verankerte inter- oder transdisziplinäre Bearbeitung komplexer Fragestellungen zu den drei genannten grundsätzlichen Entsorgungsoptionen. Damit einher geht die Ausbildung entsprechend breit orientierter und über die Grenzen der eigenen Disziplin blickender Wissenschaftler.

Die Forschungsplattform führt die Ergebnisse zu den technischen Schlüsseloptionen sowie bestehende einschlägige Resultate anderer Einrichtungen zusammen. Dazu gehört erstens ein problemorientiertes Mapping der drei vertieft diskutierten Entsorgungsoptionen und des gesellschaftlichen Konflikts in Deutschland aus interdisziplinärer Perspektive. Zweitens wird eine systematisch-empirische Darstellung der Vor- und Nachteile dieser Optionen erarbeitet, wie sie sich aus technischer Sicht darstellen und wie sie von beteiligten Stakeholdern, Regierungsorganisationen und der interessierten Öffentlichkeit vor dem Hintergrund der einschlägigen Fachdiskussion formuliert werden.

Die so erzeugten Forschungsergebnisse werden aufbereitet und im Kontext bestehender Erkenntnisse mit Entscheidungsträgern, in der Wissenschaft und mit interessierter Öffentlichkeit kommuniziert. Die Plattform schafft somit eine zusätzliche Informationsmöglichkeit für einen gesellschaftlichen Diskurs.

Es zählt nicht zu den Aufgaben der Plattform, Aussagen über die Eignung konkreter Standorte zu treffen. Vielmehr geht es darum, wissenschaftliche Grundlagen in Bezug auf Entsorgungsoptionen und ihrer Umsetzung zu erarbeiten, um diese Optionen bewertungsorientiert miteinander vergleichen zu können, sowie Ausgangspunkte für gesellschaftliche Prozesse mit dem Ziel der sicheren Entsorgung radioaktiver Reststoffe zu schaffen.

Die Plattform möchte ein Umfeld schaffen, in dem interdisziplinäre Forschung definiert und durchgeführt werden kann. Hierbei werden sich politik- und sozialwissenschaftliche, rechtliche, ethische sowie naturwissenschaftlich-technische Disziplinen gegenseitig befruchten und kontrollieren (sogenannter transversaler Ansatz) und ihre jeweiligen Beiträge kohärent und komplementär definieren und abstimmen. Sowohl die Förderung des wissenschaftlichen Austausches in Tagungen und Symposien mit deutschen und ausländischen Partnern als auch die bidirektionale, diskursive und partizipative Kommunikation mit der Öffentlichkeit einschließlich der möglicherweise direkt Betroffenen (zielgruppenorientierte Aufbereitung und Vermittlung von Arbeitsergebnissen einerseits und Ausrichtung der Arbeit unter Berücksichtigung von Meinungsbildern andererseits) ist vorgesehen.

Die beantragte Forschungsplattform geht dem Förderkonzept des BMBF entsprechend von einem breiten interdisziplinären Ansatz aus, bei dem Disziplinen nicht nur nebeneinander stehen, sondern auf vielfältige Weise miteinander verknüpft werden. Die Arbeit der Plattform wird deshalb u.a. Themen aus den im Förderkonzept genannten Bereichen Langzeitsicherheitsnachweis, Rechenwerkzeuge, Geochemie sowie Strahlenforschung erfassen.

Die an den Regeln guter wissenschaftlicher Praxis orientierte Arbeit der Plattform findet ihren Niederschlag nicht zuletzt in der schwerpunktmäßigen Beteiligung universitärer Einrichtungen. Gleichzeitig wird ein Höchstmaß an Flexibilität der zu bearbeitenden Aufgaben angestrebt, um neuen Rahmenbedingungen (etwa durch die Gesetzgebung) Rechnung tragen zu können.

Die Forschungsplattform wird in einem ersten Schritt den methodischen und organisatorischen Rahmen für eine interdisziplinäre Sichtung, Analyse und ganzheitliche Bewertung von Entsorgungsoptionen schaffen. Mit Hilfe des so entwickelten neuen Werkzeuges werden sodann in einem zweiten Schritt vergleichende Untersuchungen und Bewertungen aus den Blickwinkeln der beteiligten Disziplinen durchgeführt werden.

Nachfolgend werden in den Kapiteln 1.2 und 1.3 die an der Antragstellung Beteiligten sowie die für die Plattform vorgesehenen Teilprojekte benannt. Teil 2 stellt ausgehend von einer Beschreibung der gegenwärtigen Situation in Deutschland hinsichtlich der Entsorgung radioaktiver Reststoffe die Forschungsziele der beantragten Plattform (2.1) und den konzeptionellen Ansatz zum Erreichen dieser Ziele, insbesondere im Hinblick auf die Verknüpfung von Arbeiten in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen, dar (2.2). Der Antrag wird in Bezug auf das Förderkonzept des BMBF eingeordnet (2.3) und die vorgesehene Stellung der Plattform erläutert (2.4). Es ist vorgesehen, die Arbeit der Plattform durch einen wissenschaftlichen Beirat begleiten zu lassen (2.5). Das vorgesehene Arbeitsprogramm umfasst neben Forschungsarbeiten (2.6.1) auch die Kommunikation innerhalb der Plattform sowie die bidirektionale Kommunikation mit externen Wissenschaftlern, der Politik und der interessierten Öffentlichkeit (2.6.2) sowie die interne und externe Evaluation (2.6.3). Das Arbeitsprogramm geht von in- und ausländischen Erfahrungen bei der Verknüpfung sozial- und geisteswissenschaftlicher mit naturwissenschaftlich-technischen Aspekten der Entsorgungsforschung aus (2.7, Anhang) und beruht auf den vielfältigen Kompetenzen der Antragstellergruppe in den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen (2.8). Die Plattform verknüpft wissenschaftliche Forschung mit dem Aufbau und Erhalt disziplinärer und interdisziplinärer Kompetenz (2.9) und setzt die einschlägigen Gleichstellungsstandards um (2.10). Die beantragten Mittel sollen in sieben Teilprojekten (Teil 3) eingesetzt werden. Die Arbeitspakete dieser Teilprojekte werden nicht isoliert bearbeitet, vielmehr wird eine Vernetzung von Institutionen und Disziplinen (Teil 4) umgesetzt.

1.2 Federführung / Arbeitsgruppe

Die Beantragung und Bearbeitung erfolgt unter Federführung der Niedersächsischen Technischen Hochschule (NTH). Folgende Wissenschaftler sind an der Erstellung dieses Kompaktantrages beteiligt:

Sprecher:
Univ.-Prof. Dr. Klaus-Jürgen Röhlig
Institut für Endlagerforschung
Technische Universität Clausthal (TUC)
Adolph-Roemer-Straße 2 a
38678 Clausthal-Zellerfeld

stv. Sprecher:
Univ.-Prof. Dr. Edmund Brandt
Institut für Rechtswissenschaften
Technische Universität Braunschweig (TUBS)
Bienroder Weg 87
38106 Braunschweig

stv. Sprecher:
Univ.-Prof. Dr. Clemens Walther
Institut für Radioökologie und Strahlenschutz
Leibniz Universität Hannover (LUH)
Herrenhäuser Straße 2
30419 Hannover

Univ.-Prof. Dr. Friedrich-Wilhelm Bach
Institut für Werkstoffkunde
Leibniz Universität Hannover (LUH)
An der Universität 2
30823 Garbsen

Univ.-Prof. Dr. Harald Budelmann
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig (TUBS)
Beethovenstraße 52
38106 Braunschweig

Dr. Anne Eckhardt
risicare GmbH
Bühlstraße 14
CH-8125 Zollikerberg

Univ.-Prof. Dr. Horst Geckeis
Institut für Nukleare Entsorgung
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Dr. Peter Hocke-Bergler
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Postfach 3640
76021 Karlsruhe

Univ.-Prof. Dr. Karl-Heinz Lux
Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik
Technische Universität Clausthal (TUC)
Erzstraße 20
38678 Clausthal-Zellerfeld

Univ.-Prof. Dr. Kurt Mengel
Institut für Endlagerforschung
Technische Universität Clausthal (TUC)
Adolph-Roemer-Straße 2 a
38678 Clausthal-Zellerfeld

Univ.-Prof. Dr. Konrad Ott
Institut für Philosophie und Ethik der Umwelt
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Leibnizstr. 4
24118 Kiel

Univ.-Prof. Dr. Miranda Schreurs
Forschungszentrum für Umweltpolitik
Freie Universität Berlin (FUB)
Ihnestraße 22
14195 Berlin

Univ.-Prof. Dr. Joachim Stahlmann
Institut für Grundbau und Bodenmechanik
Technische Universität Braunschweig (TUBS)
Beethovenstraße 51 b
38106 Braunschweig

1.3 Liste der Teilprojekte, Projektleiter und jeweils beteiligten Einrichtungen

Nr.	Name des Projekts	Name und Einrichtung des Projektleiters	Beteiligte Institute
01	Transversalprojekt „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“	Univ.-Prof. Dr. Röhlig (TUC, Institut für Endlagerforschung)	TUC, Institut für Endlagerforschung TUBS, Institut für Rechtswissenschaften LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz KIT, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse CAU, Institut für Philosophie und Ethik der Umwelt TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik TUBS, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
02	Transversalprojekt „Technikfolgenabschätzung und Governance“	Dr. Hocke-Bergler (KIT, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse)	KIT, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse FUB, Forschungszentrum für Umweltpolitik LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz
03	Transversalprojekt „Ethisch-moralische Begründung, rechtliche Voraussetzungen und Implikationen“	Univ.-Prof. Dr. Ott (CAU, Institut für Philosophie und Ethik der Umwelt)	CAU, Institut für Philosophie und Ethik der Umwelt TUBS, Institut für Rechtswissenschaften
04	Transversalprojekt „Interdisziplinäre Risikoforschung“	Dr. Eckhardt (RISICARE)	TUC, Institut für Endlagerforschung LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz RISICARE KIT, Institut für Nukleare Entsorgung

Nr.	Name des Projekts	Name und Einrichtung des Projektleiters	Beteiligte Institute
05	Vertikalprojekt „Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit“	Univ.-Prof. Dr. Röhlig (TUC, Institut für Endlagerforschung)	TUC, Institut für Endlagerforschung / Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik
06	Vertikalprojekt „Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit“	Univ.-Prof. Dr. Stahlmann, (TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik)	TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz LUH, Institut für Werkstoffkunde TUC, Institut für Endlagerforschung / Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik
07	Vertikalprojekt „Oberflächenlagerung“	Univ.-Prof. Dr. Budelmann (TUBS, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz)	TUBS, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

2 Grundlagen

Durch den Betrieb von Leistungsreaktoren zur Stromerzeugung und anderer mit der Kernenergiegewinnung in Zusammenhang stehender kerntechnischer Anlagen, durch den Rückbau dieser Anlagen, aber auch durch den Betrieb von Forschungsreaktoren und durch die Nutzung radioaktiver Isotope in verschiedenen Bereichen von Forschung, Industrie, Medizin u.a. entstehen verbrauchte Kernbrennstoffe und andere radioaktive Reststoffe. Der angemessene und sichere Umgang mit diesen Stoffen und insbesondere die sachgerechte Entsorgung radioaktiver Abfälle ist seit Jahren Gegenstand gesellschaftlicher Kontroversen, bislang ungeschlichteter Konflikte und Unsicherheiten.. Dass ein inhaltlicher Zusammenhang mit der Frage der Kernenergienutzung hergestellt wurde, wirkte sich konfliktverschärfend aus. Gesamtgesellschaftliche Debatten werden von Diskussionen um einzelne Projekte und Standorte (Konrad, Morsleben) und insbesondere um das Erkundungsbergwerk und Zwischenlager Gorleben geprägt, teilweise auch überlagert. Die Ereignisse im ehemaligen Forschungsbergwerk Asse (heute: Endlager für Radioaktive Abfälle Asse) bewirkten einen zusätzlichen Verlust von Vertrauen in handelnde Institutionen und in Entsorgungskonzepte sowie eine weitere Zuspitzung des Konflikts.

Für den größten Teil der Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung liegt mit der genehmigten Einlagerung in dem in der Umrüstung befindlichen Schacht Konrad eine Entsorgungslösung vor, auch wenn das Thema dadurch nicht vollständig konfliktfrei gestellt wurde. Hingegen ist die Frage der Entsorgung jener Reststoffe, die nicht im Schacht Konrad entsorgt werden können, noch offen. Dies betrifft insbesondere verbrauchte Kernbrennstoffe und hochradioaktive, verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung. Gleiches gilt aber auch für jene Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die die Annahmebedingungen für den Schacht Konrad nicht erfüllen sowie gegebenenfalls – im Falle einer Rückholung – Abfälle aus dem Schacht Asse.

In der Vergangenheit war die Endlagerung dieser Stoffe in tiefen geologischen Formationen ohne besondere Vorkehrungen für eine Rückholung vorgesehen. Diesbezügliche Planungen standen in engem Zusammenhang mit der wechselvollen Geschichte des Standortes Gorleben. In der jüngeren Vergangenheit werden verstärkt andere Varianten oder Optionen ins Gespräch gebracht: Die Sicherheitsanforderungen

des BMU an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle[1] fordern die Ermöglichung einer Rückholung in der Endlager-Betriebsphase sowie die Gewährleistung der Handhabbarkeit von Abfallbehältern bei einer eventuellen Bergung über einen Zeitraum von 500 Jahren. Die „Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung“ geht darüber hinaus: „Die Endlagerung von Atommüll muss bei höchsten Sicherheitsanforderungen rückholbar erfolgen, denn für zukünftige Generationen muss die Option sichergestellt bleiben, Gefahren und Umfang des Atommülls zu vermindern, wenn entsprechende Technologien verfügbar sein werden.“[2]

Insoweit besteht noch erheblicher Klärungsbedarf. So muss Rückholbarkeit exakt definiert werden, zu fragen ist nach den Motiven, und schließlich geht es auch um ihre Ausgestaltung. Die Entsorgungskommission des BMU hat kürzlich einen diesbezüglichen Übersichtsbericht[3] erarbeitet und Thesen[4] formuliert.

Neben den Forderungen nach einer wie auch immer gestalteten rückholbaren und überwachten Einlagerung radioaktiver Abfälle in tiefe geologische Formationen stehen Vorschläge nach einer langfristigen Zwischenlagerung auf oder unter der Erdoberfläche. Diese und andere Vorschläge sind sehr unterschiedlich motiviert. Neben Zweifeln an der Sicherheit der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen werden ethisch-moralisch sowie ökonomisch begründete wie auch an Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz orientierte Argumente angeführt. Mitunter wird als treibende Kraft für Vorschläge zur Rückholbarkeit oder zur langfristigen Zwischenlagerung auch ins Feld geführt, dass in Zukunft bessere Technologien zum Umgang mit radioaktiven Reststoffen verfügbar sein könnten. Im Falle einer Betrachtung solcher Technologien (wie etwa Abtrennung und Transmutation) ist es dann wiederum geboten, gegebenenfalls neu entstehende Abfallströme zu untersuchen.

---

[1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. Stand 30. September 2010. www.bmu.de

[2] Deutschlands Energiewende – Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft; vorgelegt von der Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung Berlin, den 30. Mai 2011. http://www.bundesregierung.de/Content/DE/__Anlagen/2011/05/2011-05-30-abschlussbericht-ethikkommission,property=publicationFile.pdf

[3] Entsorgungskommission (ESK), Ausschuss Endlagerung radioaktiver Abfälle (EL): Rückholung / Rückholbarkeit hochradioaktiver Abfälle aus einem Endlager – ein Diskussionspapier. 02.09.2011, www.entsorgungskommission.de

[4] ESK-Ausschuss ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE (EL) : Rückholbarkeit: Thesen für eine öffentliche Diskussion. 05.09.2011, www.entsorgungskommission.de

Bei der Würdigung und Abwägung gegebenenfalls auch konkurrierender Ziele (zum Beispiel „Offenhaltung eines Endlagers“ versus „sicherer Einschluss der Abfälle“; vgl. das Thesenpapier der ESK) müssen daher neben den rein technischen Fragestellungen auch ethisch-moralische, rechtliche und sozialwissenschaftliche (wie insbesondere soziologische, politologische, geschichts- und kulturwissenschaftliche) Dimensionen betrachtet werden. Folglich ist über den interdisziplinären Ansatz hinaus ein Vorgehen zu wählen, das die technisch-naturwissenschaftliche Herausforderung mit einer anspruchsvollen Analyse der Entscheidungsblockaden, rechtlicher Dilemmata, ethischer Herausforderungen, Risikofragen und professioneller Ansätze der Entsorgungspolitik verknüpft.

Die Ethik-Kommission hat empfohlen, in einem für die Öffentlichkeit transparenten und konzeptionell fairen, ergebnisoffenen Verfahren verschiedene Entsorgungsoptionen zu bewerten.[5] Im Falle einer untertägigen Endlagerung beinhaltet diese Empfehlung einen ergebnisoffenen Vergleich potentieller deutscher Standorte für Endlager in unterschiedlichen Wirtsgesteinen. Eine solche Standortsuche ist gegenwärtig eines der zentralen Themen der Gespräche der Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Vorbereitung eines Standortauswahlgesetzes. Am Ende des Suchprozesses muss eine Entscheidung getroffen werden. Die Nutzung der Kernkraft hat das Problem mit sich gebracht, dass heutige Entscheider bezogen auf hochradioaktive Abfälle ein hohes Maß an Verantwortung für künftige Generationen übernehmen müssen, sofern die Entscheidung für Ort und Art einer Entsorgungseinrichtung in der näheren Zukunft getroffen werden soll. (An Art und Ausmaß der Verantwortung würde sich wenig ändern, wenn man das zu lösende Problem um wenige Jahrzehnte verschöbe.) Jede Entscheidung schränkt zukünftige Handlungsoptionen unweigerlich ein. Argumentativ rechtfertigen kann man Entscheidungen nur gegenüber Zeitgenossen, nicht aber gegenüber zukünftigen Generationen. Zu rechtfertigen sind Entscheidungen auch gegenüber den direkt Betroffenen, die sich, wie abzusehen ist, geschädigt bzw. benachteiligt fühlen werden. Rechtfertigbarkeit lässt sich erfahrungsgemäß nicht durch Kompensationsangebote substituieren, wenngleich diese ethisch nicht prinzipiell unzulässig sind. Die Problematik umfasst somit Aspekte intergenerationeller Verantwortbarkeit und intragenerationeller Begründbarkeit.

[5] Deutschlands Energiewende – Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft; vorgelegt von der Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung Berlin, den 30. Mai 2011. http://www.bundesregierung.de/Content/DE/ Anlagen/2011/05/2011-05-30-abschlussbericht-ethikkommission,property=publicationFile.pdf

Die derzeitige Situation bezüglich der Entsorgung nuklearer Reststoffe ist widersprüchlich, durch Ambivalenzen geprägt und durch die bisherige Entsorgungspolitik wurde viel Vertrauen in Wissenschaft und Politik verspielt. Allerdings ist durch den Ausstiegsbeschluss der Bundesregierung nach der Naturkatastrophe und dem folgenden Reaktorunfall in Fukushima Daiichi eine neue Situation entstanden, die verbesserte Chancen bietet, das Entsorgungsproblem unter Beachtung anspruchsvoller Standards von wissenschaftlich gestützter Risikobeurteilung, Transparenz, Verfahrensgerechtigkeit und Bürgerbeteiligung einer Lösung näher zu bringen. Ein umfassender Vergleich von Entsorgungsoptionen muss auf einer breiten, transparenten, kriteriologisch nachvollziehbaren argumentativen Basis beruhen und steht unter der Diskursidee von Zustimmungswürdigkeit. Eine entscheidungsorientierte Abwägung zwischen möglichen Optionen und Standorten muss in jedem Falle gegenüber einer breiten Öffentlichkeit, unterschiedlichen Stakeholdern und nicht zuletzt gegenüber direkt Betroffenen diskursrational rechtfertigbar sein.

2.1 Langfristige Forschungsziele

Langfristige Forschungsziele sind die umfassende Sichtung (gegebenenfalls auch Weiterentwicklung), Analyse und Bewertung von Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe. Zu klären ist, wie die nationale Aufgabe der Entsorgung bewältigt werden kann. Dabei ergeben sich prinzipiell die folgenden Fragen:

1. Was sind die maßgeblichen Kriterien für die Auswahl von Entsorgungsoptionen? (analytisch/normativ)
2. Welche Entsorgungsoptionen für hochradioaktive Reststoffe gibt es, welche diese Kriterien erfüllen? (deskriptiv/analytisch)
3. Wie sind der Stand der Kenntnis in der Gesellschaft und die aktuelle Entscheidungslage in Deutschland fachpolitisch und gesellschaftlich zu charakterisieren? (deskriptiv/analytisch)
4. Welche Folgerungen sind auf der Basis von Optionsanalysen, Kriterien und Situationsbeschreibung abzuleiten, und welche Handlungsoptionen lassen sich daraus entwickeln? Welche Rolle könnten bzw. sollten neue technologische Optionen (Transmutationstechnik) spielen? Welche Schlussfolgerungen ergeben sich hinsichtlich der Gestaltung von Entscheidungsprozessen? (analytisch/normativ)

Vorausgesetzt werden können näher zu spezifizierende Ideen hinsichtlich der Grundwerte von Sicherheit bzw. Risikoarmut und hinsichtlich einer

Verfahrensgerechtigkeit, da angesichts des zu lösenden Problems völlige Voraussetzungslosigkeit weder möglich noch sachadäquat ist. In der speziellen deutschen Situation kann weiter vorausgesetzt werden, dass hochradioaktive Abfälle unerwünschte Bestände sind, deren Lagerung niemand freiwillig auf sich nehmen möchte. Der gegenwärtigen Rechtslage entsprechend scheidet eine Endlagerung außerhalb des Staatsgebietes der Bundesrepublik Deutschland aus. Unklar ist noch, ob der Ausstieg Deutschlands aus der Nutzung der Kernkraft für die Entsorgungsdiskussion von Bedeutung ist. Fraglich und politisch strittig sind auch die Voraussetzungen, die den Standort Gorleben oder die Möglichkeit dauerhafter oberirdischer Lagerung betreffen. Die Reflexion normativer und wertsensibler Voraussetzungen zählt angesichts solcher Fragen zu den Daueraufgaben der Forschungsplattform.

Es ist im Interesse der Gesellschaft und des Vertrauens in demokratische Politik (Legitimitätsglauben der Bevölkerung), dass die genannten und neu auftauchende Fragestellungen nicht nur wissenschaftlich untersucht, sondern die Untersuchungsergebnisse einschließlich möglicher wissenschaftlicher Kontroversen auch adäquat kommuniziert und diskutiert werden können. Verlangt werden muss weiterhin die angemessene Einbindung von Zielgruppen (Stakeholder, zivilgesellschaftliche Gruppen, staatliche Administration usw.). Aufgrund ihrer wissenschaftlichen Kompetenz und ihrer Ansiedlung im Hochschulbereich ist die Plattform dafür prädestiniert, auf diese Einbindung hinzuwirken.

2.2 Konzeptioneller Ansatz

Der grundlegende konzeptionelle Ansatz besteht in der gemeinsamen und vernetzten wissenschaftlichen Bearbeitung komplexer Fragestellungen zu grundsätzlichen Entsorgungsoptionen. Ziel ist die Schaffung einer Wissenschaftsplattform, die im Unterschied zu herkömmlichen Verbundvorhaben die genuine Forschungstätigkeit mit einer kontinuierlichen Kommunikation der technischen und nicht-technischen Disziplinen innerhalb der Plattform und über ihre Grenzen hinaus verbindet. Kommunikation ist nach diesem Verständnis nicht nur als Information in eine Richtung gedacht; vielmehr soll durch die frühzeitige Einbindung verschiedenster Akteure (Fachleute, Fachgremien, Institutionen, Politik, Öffentlichkeit) eine adäquate wissenschaftliche Problembearbeitung ermöglicht werden. Die sozialwissenschaftlichen Disziplinen haben hier einen besonderen Beitrag zu leisten. Dieser transdisziplinäre konzeptionelle Ansatz

schafft zugleich die Grundlage für die Ausbildung entsprechend breit orientierter und über die Grenzen der eigenen Disziplin blickender Wissenschaftler.

Das Vorhaben unterscheidet zwischen Vertikal- und Transversalprojekten. Die **Vertikalprojekte** befassen sich komplementär zur bereits vom Bund geförderten Entsorgungs- und Endlagerforschung systematisch mit ausgewählten Aspekten der drei Entsorgungsoptionen, die als Idealtypen zu den Schlüsseloptionen der nuklearen Entsorgung in Deutschland gehören.

Eigene Forschungstätigkeiten im Bereich der Abtrennung (Partitioning) und Transmutation von Radionukliden sind gegenwärtig nicht vorgesehen.

Die zu betrachtenden Entsorgungsoptionen sind:

- Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit („wartungsfreie Tiefenlagerung“),
- Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit („Tiefenlagerung mit Rückholbarkeit“)

und

- Oberflächenlagerung.

Die Wahl gerade der drei genannten Entsorgungsoptionen liegt in der aktuellen wissenschaftlichen und politischen Diskussion begründet. Lange war die Wartungsfreiheit einer unterirdischen Deponierung das dominierende Merkmal der konzeptionellen Ausrichtung. Damit sollte vor allem vermieden werden, künftige Generationen mit der Entsorgung zu belasten. In jüngster Vergangenheit sind dagegen die Kontrollierbarkeit und die Handlungsfreiheit künftiger Generationen stärker in den Vordergrund gerückt. Dieser Wandel ist unter anderem durch Zweifel an der Sicherheit passiver Barrieren und an der Vertrauenswürdigkeit der zuständigen Institutionen motiviert.

Die durch die Plattform zu erstellenden Analysen haben das Ziel, die Entsorgungsoptionen konzeptionell zu beschreiben und systematisch zu diskutieren. Darüber hinaus werden Forschungsbeiträge zu ihrer Weiterentwicklung geleistet. Damit wird zur Schaffung von Grundlagen für die Bewertung grundsätzlich möglicher Optionen für die Entsorgung radioaktiver Reststoffe in Deutschland beigetragen.

Die Arbeitspakete der Einzelvorhaben identifizieren problemrelevante offene Fragen, bearbeiten sie und stellen Informationen zur Verfügung, die für die Durchführung der Transversalprojekte (s.u.) wichtig sind (vgl. hierzu auch 2.6.1 und Abb. 1). **Transversalprojekte** untersuchen hingegen mehrere Optionen hinsichtlich übergreifender Aspekte: „Synthese, Koordination und Kommunikation“, „Technikfolgenabschätzung und Governance“, „Ethisch-moralische Begründung, rechtliche Voraussetzungen und Implikationen“ sowie „Interdisziplinäre Risikoforschung“. Die Transversalprojekte spielen bei der Vorbereitung der Ergebnisgenese eine besondere Rolle. Sie tragen damit entscheidend zum Erreichen der übergreifenden Ziele der Plattform bei und stellen die geforderte Interdisziplinarität auch in der Entsorgungsforschung sicher.

Dabei wird die Funktion als Plattform maßgeblich durch das **Sprecherprojekt** „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“ wahrgenommen, das die Gewährleistung des wissenschaftlichen Austausches innerhalb der Plattform und mit anderen im Bereich der Entsorgung radioaktiver Reststoffe tätigen Wissenschaftlern und Einrichtungen wie auch die Kommunikation mit der interessierten Öffentlichkeit beinhaltet (vgl. Kapitel 3.1). Die Organisation sowohl interner als auch offener Workshops und Symposien, der Aufbau einer Präsenz im Internet sowie die Schaffung eines Informationsangebots für die interessierte Öffentlichkeit zählen zu den Aufgaben dieses Projekts.

In Abb. 1 ist die Struktur der Plattform dargestellt.

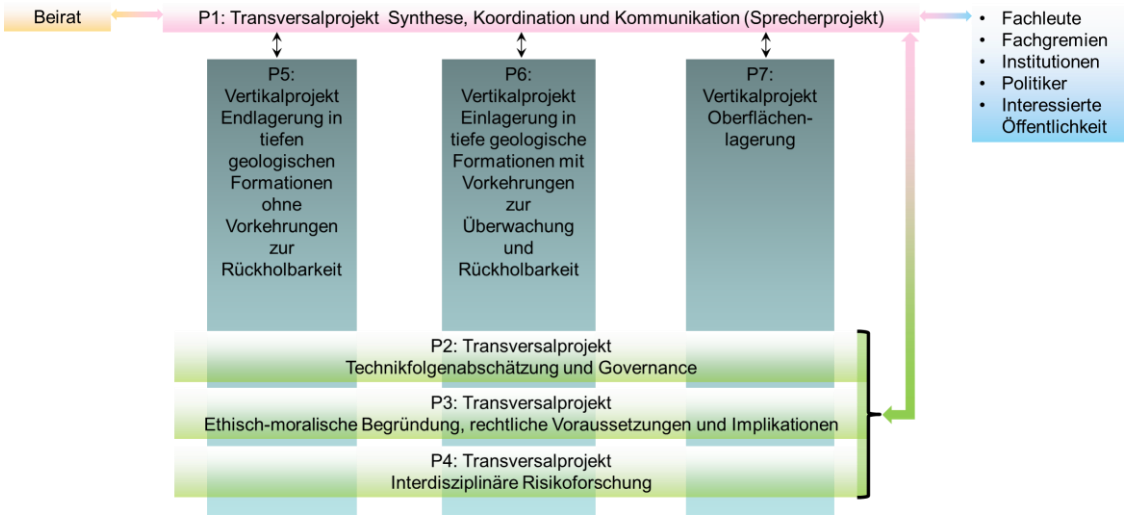

Abb. 1 Struktur der Plattform

Die weiteren Transversalprojekte eröffnen die Möglichkeit, systematisch nicht nur die technik- und naturwissenschaftlichen Chancen und Herausforderungen der drei unterschiedenen Entsorgungsoptionen herauszuarbeiten. Sie verknüpfen im Kern die Kontexte der technischen Optionen mit der „nationalen Konfliktlage“, „thematischen Kontroversen“ und unterschiedlichen wissenschaftlich begründeten Argumenten sowie Risikofragen.

Der so geschaffene übergeordnete Kontext erlaubt eine erneute Prüfung der zuvor herangezogenen „guten Gründe“ für die jeweilige Option der Vertikalprojekte im Rahmen der projektinternen Kommunikation (2.6.2) und durch den externen Beirat (2.5) gewährleisteten fortlaufenden Evaluation (2.6.3). Vor dem Hintergrund, dass jede Auswahl nur so gut ist wie die Kriterien, nach denen sie erfolgt, und dazu forschungslogisch auch die Argumente gehören, die bei hier nicht berücksichtigten Optionen zu deren Ausscheiden führten, werden im Transversalprojekt „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“ die spezifischen Gründe geprüft, die die geringer eingeschätzte Bedeutung der jeweiligen Option aus forschungslogischen Gründen bereits in einem frühen Projektstadium klären und damit einen Referenzrahmen schaffen, vor dem die drei ausgewählten Optionen (wartungsfreie Tiefenlagerung, Tiefenlagerung mit Rückholbarkeit, Oberflächenlagerung) ihre jeweiligen Stärken und Schwächen beweisen können. Nur vor diesem Hintergrund können die „guten Gründe“ für die Favorisierung einer kleineren Zahl an Optionen robust erhärtet werden. Eine besondere Rolle spielt in diesem Zusammenhang die Beschreibung der unterschiedlichen Endlager-Systeme, die unter anderem im Rahmen der Auswertung internationaler Erfahrungen bei der Analyse international praktizierter Vorgehensweisen im Transversalprojekt „Technikfolgenabschätzung und Governance“ herausgearbeitet werden.

Da das Projekt auf Fälle des „best practice“ abzielt, wird das Transversalprojekt „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“ im Rahmen des Arbeitspaketes „Interdisziplinäre Synthese und Bewertung“ (vgl. 3.2.1) sowohl beim Projektstart als auch bei der Entwicklung seiner Ergebnisse sowie den Empfehlungen des Gesamtprojektes den Auswahlkriterien und den guten Gründen, die für die Optionen sprechen, besondere Aufmerksamkeit schenken.

Über die Einordnung der Projekte in das zweidimensionale Schema der Vertikal- und Transversalprojekte hinaus wurden fünf vernetzende Themenkreise identifiziert (4.1 – 4.5). Bei ihnen handelt es sich um Problemstellungen, die zwar technischer oder

sozialwissenschaftlicher, also disziplinärer Natur sind, aber über Implikationen oder einen Handlungsbedarf mit der jeweils anderen Fachrichtung verbunden sind. Sie beziehen sich jeweils auf die drei Optionen und benennen Gemeinsamkeiten und Differenzen. Die fünf Themenkreise lauten:

- *Performance und radiologische Konsequenz*: Der Themenkreis erstreckt sich von der Gewährleistung des Einschlusses bzw. der Rückhaltung von Radionukliden unter Störfallszenarien für die verschiedenen Optionen bis hin zu möglichen Freisetzungen und Dosisverteilungsberechnungen für die Bevölkerung und Fragestellungen der Zumutbarkeit radiologischer Expositionen.
- *Governance- und Konfliktanalyse* in nationaler und internationaler Perspektive: Dazu gehören von technischer Seite die Analyse der aktuellen nationalen Endlagersuche in Deutschland sowie die internationalen Erfahrungen, die bei der erfolgreichen oder gescheiterten Realisierung von Entsorgungslösungen gemacht wurden, sowie die Konsequenzen, die auf wissenschaftlicher Ebene gezogen wurden. Aus sozialwissenschaftlicher Ebene interessiert vor allem die energie- und umweltpolitische Perspektive. Sie ist mit den rechtlichen Rahmensetzungen und Handlungsspielräumen sowie mit den ethischen Argumenten, die insbesondere bei Abwägungen in der interdisziplinären Urteilsbildung von herausgehobener Bedeutung sind, verknüpft.
- *Sicherheits- und Risikowahrnehmung*: Der Themenkreis beinhaltet die Gegenüberstellung von naturwissenschaftlich-technischer Bewertung von Sicherheit und Risiken einerseits und gesellschaftlicher Wahrnehmung andererseits wie auch die Wahrnehmung unterschiedlicher Risiken (zum Beispiel radiologisch vs. andere Risiken, kurze vs. lange Zeiträume, Risiken für Betriebspersonal vs. Risiken für die Bevölkerung) und die Schlussfolgerungen für die Priorisierung der Optionen.
- *Monitoring:* Darunter ist insbesondere die über das erforderliche Umweltmonitoring hinausgehende Überwachung der Funktionalität des Lagers zu betrachten, die Voraussetzungen für mögliche Entscheidungslagen liefert, bei denen ein aktives Eingreifen in der Betriebsphase oder eventuell auch zu einem späteren Zeitpunkt erforderlich wird. Im Zusammenhang mit der Entscheidung über ein eventuelles Eingreifen stellen sich auf technischen Erkenntnissen und Möglichkeiten basierende rechtliche und sozialwissenschaftliche Fragen nach den Entscheidungsgrundlagen und Verantwortlichkeiten.
- *Außenkommunikation* der Arbeiten und Ergebnisse der Plattform gegenüber wissenschaftlicher Community, Entscheidungsträgern und interessierter Öffentlichkeit.

2.3 Bezug zum Förderkonzept des BMBF

Im Förderkonzept des BMBF „Grundlagenforschung Energie 2020+“[6] wird die Notwendigkeit „gezielte(r) Forschungsarbeiten im Bereich … nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung“ betont. Insbesondere werden diesbezügliche Themenfelder aus den Bereichen „Sicherheitsnachweis der Endlagerung“, „Entwicklung und Validierung von Rechenwerkzeugen“, „geochemisch basierte(r) Langzeitsicherheitsnachweis“ und „Strahlenforschung“ benannt. Für alle zu fördernden Bereiche der Energieforschung hebt das Konzept die Bedeutung „breiter interdisziplinärer Ansätze“ hervor.

Die beantragte Forschungsplattform geht von einem solch breiten interdisziplinären Ansatz aus. Die Arbeit der Plattform wird u.a. Themen aus den Bereichen Langzeitsicherheitsnachweis (in den Teilprojekten „Interdisziplinäre Risikoforschung“ und „Endlagerung in tiefen geologischen Formationen“), Rechenwerkzeuge (im Teilprojekt „Endlagerung in tiefen geologischen Formationen“), Geochemie (im Teilprojekt „Interdisziplinäre Risikoforschung“) sowie Strahlenforschung (in den Teilprojekten „Interdisziplinäre Risikoforschung“ und „Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit“) erfassen.

Einer der Schwerpunkte des BMBF-Förderkonzepts ist der „Kompetenzerhalt bei der Kernenergie im Bereich Sicherheit und Endlagerung radioaktiver Abfälle“. Der hohe Anteil universitärer Einrichtungen in der beantragten Plattform gewährleistet einen wesentlichen Beitrag zum Kompetenzerhalt in den Bereichen Entsorgung/Endlagerung, Radioaktivität und Strahlenschutz durch die geplante Einbindung von Doktoranden und Nachwuchswissenschaftlern ("PostDocs", vgl. auch Kapitel 2.9).

Die Plattform leistet einen *neuartigen* Beitrag zur Lösung des Nachwuchsproblems im Bereich der Entsorgung radioaktiver Reststoffe. Durch die Befassung mit disziplinären und disziplin-übergreifenden Forschungsthemen z.B. im Rahmen von Dissertationen, aber insbesondere durch die transversalen Verknüpfungen in der Plattform und die kontinuierliche Auseinandersetzung mit in der Gesellschaft ablaufenden Prozessen, wird ein Umfeld geschaffen, in dem disziplinär gut ausgebildeter wissenschaftlicher

[6] Grundlagenforschung Energie 2020+. Die Förderung der Energieforschung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. http://www.bmbf.de/pub/grundlagenforschung_energie.pdf

Nachwuchs mit einem Verständnis für disziplinübergreifende Aspekte sowie für Problemstellungen, Ansätze und Methoden anderer Disziplinen heranwächst.

2.4 Stellung der geplanten Wissenschaftsplattform

Aufgabe der Plattform ist die Durchführung unabhängiger und auch als unabhängig wahrgenommener interdisziplinärer Ausbildung und Forschung in einem akademisch geprägten Umfeld. Es sollen eigenständige, den Regeln guter wissenschaftlicher Praxis verpflichtete Forschungsleistungen zur ganzheitlichen Beurteilung von Fragen der Entsorgung radioaktiver Reststoffe erbracht werden. Die Wissenschaftsplattform führt diese Ergebnisse sowie bereits vorhandene einschlägige Resultate anderer Einrichtungen zusammen. Sie trägt zur Schaffung von Grundlagen für einen gesellschaftlichen Dialog bei. Insoweit verkörpert die Wissenschaftsplattform eine starke transdisziplinäre Komponente.

Die Wissenschaftsplattform agiert unabhängig von Industrie und Betreibern, integriert aber deren Fachwissen im Rahmen wissenschaftlichen Austauschs und aufgrund enger Zusammenarbeit zum Beispiel im Rahmen des Beirats (2.5) Gleiches gilt für die Ergebnisse der EU-Technologieplattform „Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste“. Insofern ist eine sorgfältige Abwägung bei der Definition von Forschungsthemen komplementär zur bereits vom Bund geförderten Forschung und eine Ausgewogenheit bei der Auswahl von Partnern gegeben. Die Plattform legt sich weder auf Entsorgungskonzepte noch auf konkrete Standorte fest.

Die Plattform führt keine Auftragsforschung aus. Sie arbeitet in kontinuierlicher Wahrnehmung der Diskussionen und Prozesse in Wissenschaft, Gesellschaft und Politik und berücksichtigt aktuelle Entwicklungen bei der Ausrichtung der Forschungsarbeit.

2.5 Beirat

Zur wissenschaftlichen Begleitung der Plattform wird ein Beirat gebildet, dessen Mitglieder vom BMBF im Einvernehmen mit der Plattform berufen werden. Ihm sollen profilierte Persönlichkeiten insbesondere aus denjenigen wissenschaftlichen Einrichtungen angehören, die Forschungsarbeiten zur Entsorgung radioaktiver Reststoffe durchführen, aber nicht direkt an der Plattform beteiligt sind. Die

Zusammensetzung soll den explizit interdisziplinären Ansatz der Plattform widerspiegeln.

Der Beirat soll mindestens einmal jährlich tagen. Seine vorrangige Funktion besteht darin, die Arbeit der Plattform kritisch zu begleiten und Hinweise für die Planung und Durchführung von Symposien und Workshops zu liefern. Ihm obliegt auch die externe Evaluierung (siehe dazu unter 2.6.3).

Über das genaue Mandat des Beirats wird in der Anfangsphase des Projekts vom BMBF in Abstimmung mit der Plattform entschieden.

2.6 Beschreibung des Arbeitsprogramms

Die eigentliche Entsorgung nuklearer Reststoffe ist letztendlich ein technischer Vorgang. Er setzt allerdings eine Entscheidungsfindung möglichst im gesellschaftlichen Konsens voraus und muss auf gesellschaftlicher und politischer Ebene begleitend durchgeführt und abgeschlossen werden. Dies spiegelt sich auch in den Aspekten wider, die bei der Diskussion verschiedener Entsorgungsoptionen berücksichtigt werden müssen. Teilweise sind diese übergreifend, teilweise spezifisch für eine jeweilige Option. Beispielhaft seien genannt:

Als zunächst grundsätzliche Entscheidungen

- zentrale oder dezentrale Lagerung
- ein oder mehrere Lager.

Daraus folgend die Spezifizierung von

- Art und Dauerhaftigkeit des sicheren Einschlusses,
- Einlagerungstiefe,
- Art des Geosystems (bei Tiefenlagern)

und gegebenenfalls je nach gewählter Option

- technische Möglichkeiten einer allfälligen Rückholung (auch zeitabhängig),
- Standortanforderungen (bei Tiefen- und Oberflächenlagern),
- Abhängigkeit von Überwachung und Wartung,

sowie

- technische Auslegung und Komponenten.

Das vorgesehene Forschungsprogramm der Plattform orientiert sich am gesamten Spektrum der Möglichkeiten für den Umgang mit verbrauchten Kernbrennstoffen und

hochradioaktiven Abfälle, allerdings unter der zunächst angestrebten Fokussierung auf die in 2.2 aufgezählten Optionen.

2.6.1 Forschung

Die Forschung auf der technischen Seite identifiziert und bearbeitet offene Fragen hinsichtlich einzelner Optionen oder Fragen, die gemeinsam für mehrere Optionen auftreten. Hierbei bedingt eine fachadäquate Tiefe zwangsläufig eine gewisse Spezialisierung der bearbeiteten Themen. Es wird jedoch auf den integrativen Charakter der jeweiligen Arbeitspakete geachtet durch eine größtmögliche Vernetzung untereinander, Eingliederung in die jeweiligen Transversalprojekte sowie eine während der Laufzeit der Plattform durchgängig erfolgende Evaluation mit der Möglichkeit, einzelne Projekte dynamisch den sich herausbildenden Erfordernissen anzupassen (siehe 2.6.2 projektinterne Kommunikation).

Es ergibt sich eine Reihe übergreifender/integrativer Fragestellungen, die letztlich durch die Gesellschaft beantwortet werden müssen. Im Rahmen der beantragten Plattform sollen Beiträge geleistet werden, die eine solche gesellschaftliche Klärung hinsichtlich der nachfolgend aufgeführten Fragen unterstützen.

- Wie sollen die Abfälle künftig gelagert werden (zentral oder dezentral, über oder unter Tage, rückholbar oder nicht etc.)? Die Plattform wird Vor- und Nachteile sowie Konsequenzen aufzeigen und diskutieren, die sich aus den einzelnen Optionen ergeben.
- Wie ist die Frage nach der Verantwortung und den Risiken der Verantwortbarkeit sowie der Vertretbarkeit von Risiken und Lasten für jetzige und künftige Generationen im Hinblick auf die verschiedenen Entsorgungsoptionen zu beantworten? Welche Rolle dürfen Kompensationsangebote spielen?
- Welche Beratungen und Fachdiskussionen sind in welchem Verfahrensschritt für die einzelnen Varianten zu führen, um eine Chance für ausreichende gesellschaftliche Unterstützung und Akzeptabilität zu erzeugen? Welche Akteure sollen wie in welche Prozesse und Schritte eines Verfahrens eingebunden werden (Grundfrage der Verknüpfung formeller und informeller Entscheidungsvorbereitung und Beratung)?
- Welche Formen der Öffentlichkeitsbeteiligung sind angezeigt und umsetzbar? Wie kann ermöglicht werden, dass die Bevölkerung am Diskurs (auch zu technik- und naturwissenschaftlichen Fragen) effektiv und kompetent teilnimmt? Wie kann ein offener, differenzierter und lösungsorientierter Dialog in die Wege geleitet werden?

- Wie sind künftige Beteiligungs- und Entscheidungsprozesse zu gestalten?

In den Transversalprojekten (vgl. ebenfalls 2.2) erfolgt eine multikriterielle Analyse und Bewertung anhand von Kriterien aus den Bereichen

- Ethik und Moral, dazu zählen Sicherheit, Gerechtigkeit und Umweltverträglichkeit.
- Recht, dazu zählen Schutz von Mensch und Umwelt vor radiologischer und chemotoxischer Belastung (Transport-, Betriebs- und Langzeitsicherheit), Zugriffssicherheit (insbesondere hinsichtlich waffenfähiger Materialien), Umweltverträglichkeit, Vereinbarkeit mit im Grundgesetz verankerten Strukturprinzipien und administrative Umsetzbarkeit
- Naturwissenschaft und Technik, dazu zählen technische Machbarkeit und Umsetzbarkeit, insbesondere im Hinblick auf sicherheitstechnische Anforderungen, radiologische Konsequenzen und Schutz des Menschen vor radioaktiver Strahlung, logistische Umsetzbarkeit und Transportaufwand
- Politische Machbarkeit und Umsetzbarkeit, dazu zählen Entwicklung von Szenarien für schrittweise gesellschaftliche und politische Umsetzung (Akzeptanz des Verfahrens) inklusive Entwicklung von Szenarien für die Öffnung erwartbarer Entscheidungsblockaden, „Bedingungen der Möglichkeit“ politischer Umsetzung und Identifikation gesellschaftlicher Erwartungen, Anpassung von Dialog- und Beteiligungskonzepten, Gestaltungsmöglichkeiten für Kommunikation und Verfahren zur Entscheidungsfindung und deren politische Umsetzbarkeit.

2.6.2 Kommunikation

Die Wahrnehmung der zentralen Aufgaben der Plattform, also die Verantwortung für die projektinterne Kommunikation, die Kommunikation mit Fachleuten und Institutionen, die nicht direkt an der Plattform beteiligt sind, und für den Dialog mit Politik und Öffentlichkeit liegt wie in 2.2 beschrieben beim Transversalprojekt „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“. Kommunikationsaufgaben werden auch im Rahmen anderer Projekte, insbesondere im Transversalprojekt „Technikfolgenabschätzung und Governance“ wahrgenommen.

Die **projektinterne Kommunikation** beinhaltet insbesondere die Gewährleistung des Informationsflusses zwischen den einzelnen Transversal- und Vertikalprojekten, die Sicherung einer einheitlichen Informations- und Datenbasis und den ständigen Abgleich zwischen dem Informationsbedarf (insbesondere auf der Seite der Transversalprojekte)

und den durch die einzelnen Projekte bereitzustellenden Informationen. Die projektinterne Kommunikation schließt auch die Fixierung von Festlegungen und Verabredungen (etwa von Randbedingungen, die für die Untersuchung einzelner Entsorgungsoptionen in den Vertikalprojekten zu unterstellen sind) ein.

Im ersten Jahr nach Projektbeginn erfolgt eine *Klausurtagung* der Projektpartner. Zur Klausur werden Positionspapiere der Partner zur Wahrnehmung der Aufgabenstellungen und Problemwahrnehmungen aus der jeweiligen disziplinären Sicht (Werkstoffe, Endlagersysteme, Geomechanik, Radioökologie, Sozialwissenschaft, Ethik, Rechtswissenschaft, Technikfolgenabschätzung etc.) vorgestellt und diskutiert. Ziel der Tagung ist ein Scoping der internen Wahrnehmung der Forschungslücken und Lösungsansätze für die jeweiligen Herausforderungen in den Vertikal- und Transversalprojekten.

Parallel zur projektinternen Kommunikation sollen die Arbeiten der Plattform kontinuierlich nach außen kommuniziert, gleichzeitig aber auch aktuelle Stimmungsbilder eingefangen werden. Angestrebt wird also eine bidirektionale Kommunikation. Dabei erfolgt **die Kommunikation mit Fachleuten und Institutionen**, die nicht direkt an der Plattform beteiligt sind, durch Workshops zum Gesamtthema, problemorientierte Fachveranstaltungen (z. B. zu Ethik, Geologie etc.) sowie durch projektmodul-spezifische Workshops.

Um die **Politik und die interessierte Öffentlichkeit** zu erreichen, werden die Arbeitsergebnisse der Plattform zielgruppenorientiert aufbereitet und vermittelt. Das schließt eine entsprechende Präsenz im World Wide Web ebenso ein wie die persönliche Kommunikation mit interessierten Personen und Organisationen sowie Informationsangebote wie z.B. Vorträge und Veranstaltungen.Nach drei und nach fünf Jahren werden nationale Workshops mit dem Ziel des Dialoges und der Information über das Vorgehen der Plattform, ihrer Zwischenergebnisse und der Diskussion mit der interessierten Öffentlichkeit durchgeführt.

Die Öffentlichkeitsarbeit der Plattform soll nicht nur in eine Richtung erfolgen: Neben die Vermittlung von Arbeitsergebnissen tritt die Berücksichtigung regelmäßig zu erstellender Meinungsbilder bei der Ausrichtung der Forschungsarbeit der Plattform wie auch die Gestaltung des wissenschaftlichen Austauschs.

Die derart entfaltete transparente Arbeitsweise soll einen Beitrag zum angestrebten gesellschaftlichen Dialog leisten.

2.6.3 Evaluation

Zu unterscheiden ist zwischen einer internen Evaluation und einer externen Evaluation, die durch den Beirat (siehe 2.5) erfolgt.

In jährlichen Treffen aller Projektpartner wird der erreichte Bearbeitungsstand festgestellt, Defizite werden diskutiert und Folgerungen abgeleitet. Die auf die Weise erzielten Ergebnisse dienen als Grundlage für jährliche Treffen aller Projektpartner mit dem Beirat und die sich anschließende externe Evaluation durch den Beirat.

Im dritten Jahr nach Projektbeginn ist eine umfassende Zwischenevaluation des Projekts durch den Beirat vorgesehen. Sie soll die Möglichkeit eröffnen, Arbeitsgebiete neu auszurichten und nötigenfalls neue Arbeitsgebiete – ggf. unter Hinzuziehung weiterer Partner – zu definieren. In Vorbereitung dieser Evaluation wird eine weitere Klausurtagung aller Projektpartner durchgeführt.

2.7 Vergleichbare Aktivitäten im In- und Ausland

Gesellschaftliche, naturwissenschaftliche und technische Einzelaspekte von Optionen zur Entsorgung radioaktiver Reststoffe sind Gegenstand vielfältiger Forschungstätigkeiten im In- und Ausland. Im Anhang erfolgt eine Zusammenstellung von Arbeiten, die einen Schritt weiter gehen und solche Einzelaspekte mit dem Ziel der Ableitung von Schlussfolgerungen zu Entsorgungsoptionen und – im Rahmen nationaler Programme – der Definition von Entsorgungsstrategien zusammenführen.

2.8 Institutionelle Basis

2.8.1 Institut für Endlagerforschung (IELF), Technische Universität Clausthal (TUC)

Am Institut für Endlagerforschung der TU Clausthal erfolgt eine interdisziplinäre Forschung zu Fragen der Standortcharakterisierung, der Standorterkundung, der

geotechnischen Sicherheitssysteme und des Langzeitsicherheitsnachweises. Das IELF verfügt über analytische Labors mit den Schwerpunkten Röntgenbeugung und Röntgenfluoreszenz, Mikrosonde und Raman-Spektrometrie, ICP-MS (Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma) und ICP-OES (Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma) sowie Ionenchromatographie und Isotopengeochemie.

Neben den an der Erstellung des Antrages beteiligten Fachgebieten Endlagersysteme (Prof. Röhlig) und Geochemie-Mineralogie-Salzlagerstätten (Prof. Mengel) gehören die Lehrstühle Hydrogeologie und –geochemie sowie Lagerstätten und Rohstoffe zum Institut. In Forschung und Lehre arbeitet das IELF eng mit dem kooptierenden Fachgebiet Geomechanik des IFAD (vgl. 2.8.9) zusammen.

Schwerpunkte der akademischen Ausbildung sind der Master-Studiengang ‘Radioactive and Hazardous Waste Management’ und der Bachelor-Studiengang 'Rohstoff-Geowissenschaften'.

Das IELF veranstaltet jährlich (jeweils von Anfang September bis Mitte Oktober) einen sechswöchigen Weiterbildungskurs der Internationalen Atomenergiebehörde IAEA für Berufsanfänger zum Thema "Management of Radioactive Waste in Accordance with IAEA Safety Standards and International Best Practice", trägt zur Entwicklung von Curricula der IAEA bei und ist an den Weiterbildungskursen der ITC School of Underground Waste Storage and Disposal beteiligt.

Das IELF ist in nationalen und internationalen Gremien, die sich mit dem Management radioaktiver Abfälle befassen, vertreten (u.a. Endlagerausschuss der Entsorgungskommision des BMU, Vorsitz der Integration Group for the Safety Case IGSC der OECD/NEA, Wissenschaftlicher Beirat des französischen Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire IRSN).

2.8.2 Institut für Rechtswissenschaften (IRW), Technische Universität Braunschweig (TUBS)

Das Institut für Rechtswissenschaften der TU Braunschweig ist an der Carl-Friedrich-Gauß-Fakultät angesiedelt und gehört dort zum Department Wirtschaftswissenschaften. Forschung und Lehre sind inter- und transdisziplinär ausgerichtet. Dabei ist Basisgröße eine konsequent normorientierte Beschäftigung mit grundlegenden

verfassungsrechtlichen Fragen und spezifischen Ausprägungen des Energie- und Umweltrechts (letzteres in enger Abstimmung mit dem ebenfalls zum IRW gehörenden Lehrstuhl für Bürgerliches Recht und Unternehmensrecht). Ein besonderes Augenmerk gilt Fragen der Weiterentwicklung der föderalen Strukturen der Bundesrepublik Deutschland.

Mit seinem Angebot von Veranstaltungen zum Atomrecht dürfte das IRW ein Alleinstellungsmerkmal besitzen, ebenso damit, dass die rechtspolitische Entwicklung bezogen auf die Entsorgung atomarer Abfälle systematisch dokumentiert und aufbereitet wird.

Prof. Dr. Edmund Brandt, Inhaber der Professur Staats- und Verwaltungsrecht sowie Verwaltungswissenschaften, ist zugleich Leiter der Koordinierungsstelle Windenergierecht und verfügt über eine ca. 30-jährige Erfahrung in der Politikberatung. In letzter Zeit hat er namentlich zu Grundsatzfragen des Energierechts, zu Fragen des Verhältnisses von Windenergie und Artenschutzrecht sowie zum Ressourcenschutzrecht publiziert.

2.8.3 Institut für Radioökologie und Strahlenschutz (IRS), Leibniz Universität Hannover (LUH)

Das Institut für Radioökologie und Strahlenschutz besitzt Expertise in den Bereichen Detektion und Ausbreitung von Radionukliden in der Umwelt, Dosisabschätzung durch Exposition des Menschen durch anthropogene und natürliche Radionuklide, praktischer Strahlenschutz, sowie im Bereich der Mitarbeit bei der Erstellung von Normen (z.B. DIN ISO 11929) und in der Strahlenschutzausbildung.

Zum Bereich der Radioökologie und Analytik umweltrelevanter Radionuklide zählen breit angelegte Arbeiten zur Aufklärung von ^{129}I / ^{131}I- sowie ^{137}Cs- und Pu-Ausbreitung in der Umwelt. Ebenso wurden experimentelle und theoretische Arbeiten zur Rückhaltung von Radionukliden an technischen Barrieren (Organotone) durchgeführt. Weiterhin befasst sich das IRS bereits mit dem Spannungsfeld der Wahrnehmung von Gefahren durch radioaktive Kontamination in der Bevölkerung im Rahmen eines BMBF-geförderten Vorhabens (TESSA).

Alle zur Analytik notwendigen Methoden sind vorhanden, Arbeiten unter Sauerstoffausschluss in Inertgas-Handschuhboxen ist möglich. Das IRS besitzt einen

Kontrollbereich, in dem mit Aktivitäten bis zum 1E6-fachen der Freigrenze umgegangen werden darf.

Im Bereich der Lehre werden Kenntnisse der Radioaktivität im Rahmen von mehreren Masterstudiengängen sowohl der Fakultät Mathematik und Physik als auch der naturwissenschaftlichen Fakultät vermittelt. Hierzu werden sechs Vorlesungen und drei verschiedene Praktika angeboten. Zusätzlich wird den Studenten die Möglichkeit geboten, die Fachkunde Strahlenschutz zu erwerben, wie sie zum Beispiel für die Durchführung von Versuchen zur Radioaktivität an Gymnasien gefordert wird. Das IRS engagiert sich im Bereich Nachwuchsförderung beginnend in mehreren Gymnasien im Raum Hannover bis hin zur Betreuung von Bachelor-/Master- und Doktorarbeiten im Bereich Radioökologie und Strahlenschutz. Das IRS führt weiterhin Kurse zum Erwerb der Fachkunde Strahlenschutz nach StrSchV und RöV durch (zur Zeit mehr als 1000 Teilnehmer pro Jahr).

Das IRS ist mehrfach vertreten im Fachverband Strahlenschutz, der Gesellschaft Deutscher Chemiker und der Deutschen physikalischen Gesellschaft (Vorsitz des Fachverbandes Massenspektrometrie).

2.8.4 Institut für Werkstoffkunde (IW), Leibniz Universität Hannover (LUH)

Das Institut für Werkstoffkunde besitzt eine große Expertise in den Bereichen Werkstoffkunde/Werkstofftechnik. Im Bereich des Rückbaus kerntechnischer Anlagen liegt die Kompetenz im IW-Bereich Unterwassertechnikum Hannover (UWTH) schwerpunktmäßig auf Forschungsvorhaben in den Bereichen der Schneid-, Schweiß-, Handhabungs- und Abtragtechnik an Atmosphäre und unter Wasser. Die vielfältigen Aktivitäten des Instituts für Werkstoffkunde reichen von der Entwicklung von Schneidtechnologien für den Rückbau kerntechnischer Anlagen, über das Schweißen für den Schiffbau, dem Entschichten und Reinigen mit Trockeneis bis hin zum Wasserstrahlschneiden von menschlichen Knochen für die Orthopädie. Ebenfalls werden Forschungsvorhaben in Bezug auf die Langzeitbeständigkeit von Behältersystemen für die Zwischen- und Endlagerung von radioaktiven Reststoffen im IW durchgeführt.

2.8.5 Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig (TUBS)

Das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig mit der Materialprüfanstalt für das Bauwesen mit insgesamt 200 Mitarbeitern befasst sich seit Jahrzehnten mit Baustoffen und Bauwerken für die Entsorgung von Reststoffen. Im Vordergrund stehen Eignungsfragen von Stoffen und Ingenieurbauwerken gegen die spezifischen Einwirkungen und deren Auslegung und Überwachung für einen dauerhaften und sicheren Betrieb. Im Bereich der Lagerung radioaktiver Reststoffe wurden Untersuchungen zur rechnerischen Langzeitprognose von stofflichen Degradationsprozessen an Ein- und Umschließungskonstruktionen durchgeführt sowie Projekte zur Entwicklung und Anwendung spezieller Verfüllmassen auf der Basis von sogenanntem Salzbeton durchgeführt.

2.8.6 risicare GmbH

Die risicare GmbH ist auf angewandte Forschung und Beratung spezialisiert. Ihr Tätigkeitsbereich umfasst Risiken technischer Systeme, Naturgefahren sowie Chancen und Risiken technischer Systeme. Der Schwerpunkt ihrer Aufträge liegt bei interdisziplinären Studien zu Risikothemen, die sowohl sozial- und geisteswissenschaftliche als auch naturwissenschaftlich-technische Aspekte umfassen.

Die Geschäftsführerin der risicare GmbH, Dr. Anne Eckhardt, war seit 1997 Mitglied verschiedener Schweizer Kommissionen, die sich auf Bundes- und Kantonsebene mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle und der Sicherheit von Kernanlagen befassen. Heute ist sie Präsidentin des Rats des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats. Risicare arbeitet in einem Netzwerk mit Experten unterschiedlicher Disziplinen, die teils an Hochschulen und teils in anderen Unternehmen tätig sind.

2.8.7 Institut für Nukleare Entsorgung (INE), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Die Forschungsarbeiten des Instituts für Nukleare Entsorgung am Karlsruher Institut für Technologie sind fokussiert auf die Langzeitsicherheit der nuklearen Endlagerung, die Immobilisierung von hochradioaktiven Abfällen, die Reduzierung der Radiotoxizität hochradioaktiver Abfälle im Kontext des Partitioning- und Transmutation- (P&T)

Konzepts sowie auf Aspekte des individuellen Strahlenschutzes. Für das beantragte Projekt sind die umfangreichen Kenntnisse des INE zur Chemie der langlebigen Actiniden und Spaltprodukte, die über lange Zeiträume den dominierenden Beitrag zum radiotoxischen Potential von radioaktiven Abfällen liefern, von Relevanz. Im Institut werden moderne quantenchemische und spektroskopische Techniken (Synchrotron basierte Röntgen-, Laser- und Massenspektroskopie) weiterentwickelt und genutzt, um deren chemische/geochemische Eigenschaften zu quantifizieren und das Verhalten der Radionuklide unter variablen geochemischen Bedingungen zu prognostizieren. Im Bereich der Strahlenschutzforschung werden numerische Verfahren (MCNP) in Kombination mit Bewegungssimulationen entwickelt. Daraus lassen sich individuelle Strahlenexpositionen ermitteln, die als Basis für mittelbare und unmittelbare Strahlenschutzempfehlungen und -maßnahmen bei bestimmten Verfahrens- und Arbeitsabläufen, zum Beispiel im Rahmen der nuklearen Entsorgung, dienen.

2.8.8 Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Das ITAS am KIT ist die größte wissenschaftliche Einrichtung in Deutschland, die sich in Theorie und Praxis mit Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse befasst. Überwiegend werden Chancen und Herausforderungen von „advanced technologies“, aber auch deren unerwünschte Nebenfolgen erforscht. Multidisziplinär und problemorientiert ausgerichtete Forschung zur nuklearen Entsorgung wird am ITAS seit 2001 betrieben; einschlägige Veröffentlichungen liegen vor (zum Beispiel Hocke/Grunwald 2006; Hocke/Renn 2009). Die Forschungsergebnisse gingen in dialogorientierte Projekte, wie die Moderation und Leitung des „Forums Endlager-Dialog“ (2008 bis 2010) und die Mitarbeit in der BMU-Expertengruppe Schweizer Tiefenlager (seit 2006, www.escht.de) ein. Gemäß seiner Aufgabe und Mission hat sich am ITAS ein spezifischer Forschungstyp entwickelt, der sich durch die Stichworte „Problem- und Praxisbezug“, „Zukunftsbezug und Reflexivität“, „Nachhaltigkeit“ sowie „Inter- und Transdisziplinarität“ fassen lässt. In Zahlen ausgedrückt arbeiten am ITAS 120 Mitarbeiter; das Jahresbudget beläuft sich auf ca. 7,0 Mio. €. (beides 2011). Die Zahl der bearbeiteten Projekte seit 2005 beträgt 110. In der parlamentarischen Politikberatung zählt das ITAS zu den führenden Einrichtungen in Europa. Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) wird seit seiner Gründung (1990) vom ITAS betrieben. Als Koordinator der „European Technology Assessment Group“ berät das ITAS seit Oktober 2005 das Europäische Parlament.

2.8.9 Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik (IFAD), Technische Universität Clausthal (TUC)

Der Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik (LDG) am Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik (IFAD) der TU Clausthal befasst sich in Lehre und Forschung mit der geomechanischen Analyse des Tragverhaltens und der Funktionstüchtigkeit von Bergwerken, Tunneln, Salzkavernen, übertägigen Deponien sowie Untertagedeponien und Endlagern. Im Vordergrund stehen dabei nachstehende Aufgabenfelder:

- Tragwerksanalyse (physikalische Modellierung, rechnerische Simulation, Optimierung / Bewertung)
- Standsicherheits- und Gebrauchsfähigkeitsnachweise untertägiger Tragsysteme des Tunnel- und Bergbaus sowie des Salzkavernenbaus
- Standsicherheit übertägiger geotechnischer Ingenieurbauwerke (Böschungen, Dämme, Tagebaue, Deponien),
- Langzeitsicherheit und Barrierenintegrität von Untertagedeponien und Endlagern,
- mechanisch-hydraulische Funktionstüchtigkeit von Damm- und Verschlussbauwerken,
- laborative Ermittlung der stofflichen Eigenschaften von Fest- und Lockergesteinen, Ausbaumaterialien, mineralischen Damm- und Dichtstoffen sowie von Abfällen im Hinblick auf ihre thermisch-mechanisch-hydraulische Charakterisierung als Grundlage für die physikalische Modellierung sowie Softwareentwicklung als Grundlage für die rechnerische Simulation.

Der Lehrstuhl verfügt mit ca. 30 Versuchsprüfständen zur Analyse der mechanischen, thermischen und hydraulischen Eigenschaften von Salz- und Felsgesteinen sowie von Betonen, mineralischen Abfällen und Versatzmaterialien unter einaxialen und triaxialen Beanspruchungen über eines der leistungsfähigsten felsmechanischen Labore in Europa. Aus den laborativen Untersuchungen resultieren die grundlegenden Daten für die physikalische (THM-)Modellierung. Für numerische Simulationen zur Tragwerksanalyse im Hinblick auf Standsicherheits- und Barrierenintegritätsnachweise sowie zur Fluidmigrationsanalyse in geologischen und geotechnischen Barrieren steht ein umfangreiches Rechnernetz mit den für die THM-Simulationen erforderlichen Softwarekomponenten als Grundlage für die vorgesehenen Weiterentwicklungen zur Verfügung.

2.8.10 Institut für Botanik und Landschaftsökologie (IBL), Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald (EMAUG), Professur für Umweltethik*

**Anmerkung: Inzwischen ist Herr Prof. Ott an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Institut für Philosophie und Ethik der Umwelt tätig. Das Institut für Philosophie und Ethik der Umwelt nimmt im Vorhaben die ursprünglich für das IBL vorgesehene Rolle wahr.*

Die Professur für Umweltethik wurde 1997 als Stiftungsprofessur an der Universität Greifswald eingerichtet und nach Ablauf der Stiftungsperiode etatisiert. Es ist deutschlandweit die einzige Professur mit dieser Denomination. Sie ist an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät angesiedelt, an der Philosophischen Fakultät kooptiert sowie in Forschung und Lehre stark transdisziplinär ausgerichtet. Ihr Inhaber, Prof. Konrad Ott, ist ausgebildeter Philosoph.

Konrad Ott hat sich insbesondere mit Moralbegründungen, Diskursethik, Methoden angewandter Ethik, diskursiver Technikfolgenabschätzung, Risikoethik, Umweltethik, Naturschutzbegründungen, Nachhaltigkeitstheorien und Klimaethik befasst. Als Mitglied im Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) konnte er von 2000 bis 2008 Erfahrungen im Bereich der wissenschaftlichen Politikberatung machen.

2.8.11 Forschungszentrum für Umweltpolitik (FFU) Freie Universität Berlin (FUB)

Das Forschungszentrum für Umweltpolitik gehört zu den weltweit führenden Instituten im Bereich der vergleichenden und internationalen Umweltpolitikforschung und der Forschung zur nachhaltigen Energiepolitik. Universitäre und Auftragsforschung sind eng verknüpft mit einem breiten Lehrangebot zur Umwelt- und Energiepolitik auf der Bachelor-, Master- und PhD-Ebene. Das FFU verfügt über besondere Expertise im Bereich globaler Umweltfragen. Dies erfolgt auf der Grundlage von breiten Querschnittsanalysen der Energie- und Umweltpolitik von Industrieländern und der Ex-post-Analyse ihrer Erfolgsbedingungen. Der Entwicklung neuer strategischer Konzepte der Umweltpolitik kommt besondere Aufmerksamkeit zu. Die Energiepolitikforschung am FFU behandelt insbesondere die Themen Erneuerbare Energien, Energiewende, Ausstieg aus der Kernenergie und Energieeffizienz. Das FFU berät nationale und

internationale Regierungen und Institutionen. Es unterhält Kooperationen mit zahlreichen Universitäten, Forschungsinstituten und Nichtregierungsorganisationen in Europa, Asien sowie Nord- und Südamerika.

Das FFU wurde 1986 von Martin Jänicke und Lutz Mez am Otto-Suhr-Institut der Freien Universität Berlin gegründet. Seit Oktober 2007 ist die US-Amerikanerin Miranda Schreurs Direktorin. Schreurs ist Mitglied des Sachverständigenrates für Umweltfragen und wurde in die Ethikkommission Sichere Energieversorgung berufen. Mez ist ein international bekannter Experte auf dem Gebiet der vergleichenden Atompolitikforschung.

2.8.12 Institut für Grundbau und Bodenmechanik (IGB), Technische Universität Braunschweig (TUBS)

Das Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TU Braunschweig mit zurzeit über zehn wissenschaftlichen und drei technischen Mitarbeitern verfügt über langjährige Erfahrung im Bereich der Endlagerung und ist bei geotechnischen Fragestellungen für Endlagerprojekte beratend und gutachterlich tätig. Der Institutsleiter Professor Joachim Stahlmann ist seit den 90er Jahren mit Endlagerfragestellungen für die Schachtanlagen Gorleben, ERAM, Asse II und Konrad befasst. Die Schwerpunkte liegen hierbei auf der Geotechnik und Geomechanik hinsichtlich der Abdichtungsbauwerke in Strecken und Schächten, der Integrität der geologischen Barrieren, der numerischen Nachweisführung sowie der Geomesstechnik. Zudem werden am IGB-TUBS numerische Berechnungen zu Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeit von geotechnischen Bauwerken durchgeführt. Zur Bestimmung von Bodenkennwerten von Locker- und Festgestein kann auf ein sehr gut ausgestattetes geotechnisches Labor zurückgegriffen werden.

Darüber hinaus verfügt das IGB-TUBS über langjährige und ausgezeichnete Erfahrung bei der Entwicklung von geotechnischen Messkonzepten. Die Durchführung und Auswertung von geotechnischen Messungen, zum Beispiel an Tunnelbauwerken, ist in den letzten Jahren immer weiter optimiert und an aktuelle Erfordernisse angepasst worden, so dass das IGB-TUBS Messprogramme mit kontinuierlicher Datenerfassung und Ergebnisdarstellung realisieren kann. Im Zuge dessen wird Forschung für das Life-Cycle-Engineering und Langzeitmonitoring von geotechnischen Bauwerken betrieben.

Das IGB-TUBS ist zudem aktiv in den Arbeitskreisen "Geomesstechnik" und "Numerik in der Geotechnik" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik sowie im

Normenausschuss Bau Arbeitsausschuss Baugrund; Feldversuche (NA 005-05-09 AA). Am Institut für Grundbau und Bodenmechanik wird seit 1994 im zweijährigen Turnus das Symposium "Messen in der Geotechnik" durchgeführt. Im Jahr 2011 wurde die Tagung "8th International Symposium on Field Measurements in GeoMechanics" unter der Leitung des Akademischen Direktors des Institutes, Dr. Jörg Gattermann, organisiert.

Im Rahmen der akademischen Ausbildung werden die Studiengänge Bauingenieurwesen und Umweltingenieurwesen im Bachelor- und Masterstudium betreut. Diese Studiengänge beinhalten neben Bodenmechanik und Grundbau auch den untertägigen Hohlraumbau, Tiefenlagerung und Geomesstechnik.

2.9 Kompetenzaufbau und -erhalt

Ein wichtiges Ziel des Gesamtprojektes ist der Aufbau und Erhalt von Kompetenzen im Bereich der Entsorgung radioaktiver Reststoffe. Dies geschieht einerseits unmittelbar über die Einzelprojekte, in deren Rahmen eine Reihe von Promotionen in den beteiligten Einzeldisziplinen vorgesehen ist. Andererseits ist die Förderung von Nachwuchswissenschaftler/innen (PhD-Kandidaten/innen, Post-docs und jungen Mitarbeiter/innen), die in den verschiedenen Teilprojekten tätig sind, durch interdisziplinäre Betreuungsteams geplant, um so die Wissenschaftler/innen auch interdisziplinär zu qualifizieren. Die interdisziplinäre Zusammensetzung der Plattform bietet die einzigartige Chance, Doktoranden und andere Nachwuchswissenschaftler integrativ und interdisziplinär auszubilden und damit einen wesentlichen Beitrag zum dringend notwendigen Kompetenzerhalt zu leisten. Es besteht damit die Möglichkeit, zur Ausbildung einer durch Interdisziplinarität geprägten Generation des wissenschaftlichen Nachwuchses beizutragen.

Vorgesehen ist eine gemeinsame Betreuung von PhD-Kandidaten/innen durch Hochschullehrer/innen und Projektleitern aus den Teilprojekten. Die Mitglieder des Betreuungsteams sind in der Regel in einem der Teilprojekte tätig; je nach Thema kann aber auch ein international anerkannter externer Experte dem Betreuungsteam angehören. Arbeitsergebnisse der Nachwuchswissenschaftler/innen können in einer *peer reviewed Working Paper Serie* des Gesamtprojektes veröffentlicht werden. Zweimal pro Jahr – wenn möglich in Zusammenhang mit geplanten Symposien und Workshops der Teilprojekte – werden Nachwuchswissenschaftler-Treffen organisiert. Auf diesen Treffen werden die PhD-Projekte oder andere Arbeitsvorhaben vorgestellt

und mit einem interdisziplinären Fokus diskutiert. Ferner dienen sie dem informellen Ideenaustausch zu Themen wie Publikationen, Konferenzteilnahmen sowie Exkursionen zu interessanten Objekten. Außerdem soll eine größere Konferenz zum Themenkomplex Entsorgung, Risiko-Management und Akzeptanz stattfinden, auf der die Nachwuchswissenschaftler/innen ihre Arbeitsergebnisse vorstellen und zu der auch weitere PhD-Kandidaten/innen, die zum Themenkomplex forschen, aus dem In- und Ausland eingeladen werden.

Es wird eine möglichst enge Vernetzung mit der akademischen Ausbildung, zum Beispiel im Master-Studiengang ‘Radioactive and Hazardous Waste Management’, und mit den nationalen und internationalen Weiterbildungsmaßnahmen des IELF (vgl. Kapitel 2.8.1), angestrebt. Dazu gehört die Vergabe von Studienarbeiten, die Vorstellung von Arbeiten der Plattform in Gastvorträgen und Institutskolloquien, wie auch die Einbeziehung von Studenten in die geplanten Symposien und Workshops (Organisation/Zuhörerschaft).

2.10 Gleichstellung

An den am Kompaktantrag beteiligten Institutionen werden die forschungsorientierten Gleichstellungsstandards der DFG umgesetzt. Zu den Antragstellern gehört Frau Schreurs als Universitätsprofessorin und Frau Eckhardt als Geschäftsführerin eines Unternehmens. Vor allem aber ist bei der Besetzung der Bearbeiter innerhalb der einzelnen Projekte das Verhältnis zwischen den Geschlechtern nahezu ausgewogen. Gerade bei den Arbeitspaketen von schwerpunktmäßig im technischen und/oder naturwissenschaftlichen Bereich angesiedelten Einrichtungen, in dem Frauen für gewöhnlich unterrepräsentiert sind, sind gleichwohl Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vertreten.

3 Teilprojekte

Nachfolgend werden für jedes der in 1.3 genannten Vertikal- und Transversalprojekte (vgl. auch Abb. 1) die übergeordneten Ziele und Arbeitspakete aufgeführt. Ausgerichtet an dem interdisziplinären Charakter der Plattform und angesichts der vielfältigen Vernetzung der Teilprojekte (vgl. Kapitel 4) wirken die einzelnen den Vertikalprojekten zugeordneten Arbeitspakete weit darüber hinaus. Entsprechende Angaben finden sich in den einzelnen Beschreibungen („Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten“).

3.1 Transversalprojekt „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“

Aufgabe des Transversalprojekts ist zum einen die Koordination und Gewährleistung der Vernetzung der einzelnen Arbeitspakete (vgl. Kapitel 4) sowie die Wahrnehmung der projektinternen wie auch der externen Kommunikation (vgl. Kapitel 2.6.2). Es erfolgt eine administrative und inhaltliche Unterstützung der Projekt- und Arbeitspaketleiter sowie die Sicherung des termingerechten Informationsflusses zwischen den Projekten und Arbeitspaketen.

Darauf aufbauend wird zum anderen gewährleistet, dass die Plattform ihrem interdisziplinären Anspruch gerecht wird und in eine Synthese von Arbeitsergebnissen der einzelnen Projekte, Maßstäben und Kriterien mündet, um so zur Entwicklung von Bewertungsgrundlagen beizutragen.

In der Anfangsphase des Projekts wird die Auswahl der Optionen, die in den Vertikalprojekten betrachtet werden, wissenschaftlich begründet. Dazu werden in den Vertikalprojekten nicht berücksichtigte Optionen zusammengestellt und die spezifischen Gründe für die geringer eingeschätzte Bedeutung dieser Optionen aus forschungslogischer Sicht geklärt. Damit wird ein Referenzrahmen geschaffen, vor dem die drei ausgewählten Optionen (wartungsfreie Tiefenlagerung, Tiefenlagerung mit Rückholbarkeit, Oberflächenlagerung) ihre jeweiligen Stärken und Schwächen beweisen können. Am Ende erfolgt anhand dieses Referenzrahmens eine Iteration mit den Teilprojekten und eine Zusammenführung und Synthese der Ergebnisse der Plattform zu den einzelnen Optionen.

3.1.1 AP „Vernetzung, Koordination und Kommunikation“ (TUC, Institut für Endlagerforschung)

Titel / Langfassung:
Vernetzung, Koordination und Kommunikation

Bearbeiter:
Prof. Dr. K.-J. Röhlig + Prof. Dr. E. Brandt + Prof. Dr. C. Walther + N.N.

Kurzbeschreibung:

- Wahrnehmung der Plattform-Funktion durch
  - Gewährleistung des wissenschaftlichen Austausches innerhalb der Plattform und
  - mit anderen im Bereich der Entsorgung radioaktiver Reststoffe tätigen Wissenschaftlern und Einrichtungen
  - Kommunikation mit der interessierten Öffentlichkeit
- Koordination und Vernetzung: wissenschaftliche und administrative Unterstützung der Projekt- und AP-Leiter (1 Wissenschaftler E14 anteilig 50%, 1 Wissenschaftler E13):
  - Performance und radiologische Konsequenz
  - Monitoring
  - Governance- und Konfliktanalyse
  - Sicherheit und Risikowahrnehmung
  - Außenkommunikation (Zuarbeit Öffentlichkeitsarbeit)
- Öffentlichkeitsarbeit und Administration (1 Wissenschaftler E13, 1 Verwaltungskraft E6 anteilig 50%)
- 4 Meetings (projektintern, Auftakt und jährliches Arbeitstreffen)
- 4 Symposien (Auftakt und 3 Symposien zu speziellen Fragestellungen)
- Aufbau einer Internetpräsenz
- Informationsangebote für die interessierte Öffentlichkeit (z.B. Seminare, Vorträge, „Rent-a-Prof“)

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:
Teil des Transversalprojekts „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“.

Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: siehe Kapitel 4

Beginn / Laufzeit:
Monat 1-60

3.1.2 AP „Interdisziplinäre Synthese und Bewertung“ (TUC, Institut für Endlagerforschung)

Titel / Langfassung:
Überprüfung, Zusammenführung und Synthese von Kenngrößen und Charakteristika der Entsorgungsoptionen für die Entwicklung von Bewertungsgrundlagen

Bearbeiter:
Prof. Dr. K.-J. Röhlig + Prof. Dr. E. Brandt + Prof. Dr. C. Walther + Dr. Hocke-Bergler + Prof. Dr. Ott + Dr. Eckhardt + Prof. Dr. Stahlmann + Prof. Dr. Budelmann + N.N.

Kurzbeschreibung:
Ziele des Arbeitspakets sind

- die Erfassung des Spektrums denkbarer/diskutierter Entsorgungsoptionen und die Entwicklung von Bewertungsmaßstäben für diese Optionen
- die Überprüfung der Auswahl der drei Optionen *wartungsfreie Tiefenlagerung*, *Tiefenlagerung mit Rückholbarkeit* und *Oberflächenlagerung*

- die Sicherung einer disziplin-übergreifenden Erfassung und Darstellung von Kenngrößen und Charakteristika der Entsorgungsoptionen und ihrer fortlaufenden Aktualisierung (Deskription und Iteration)
- die Weiterentwicklung der Bewertungsmaßstäbe für die Optionen und die Spiegelung der Kenngrößen und Charakteristika an diesen Maßstäben (Synthese)

Überprüfung. Das Arbeitspaket erfasst aus forschungslogischen Gründen bereits in einem frühen Projektstadium (Monate 1-6) das Spektrum denkbarer/diskutierter Entsorgungsoptionen und prüft die spezifischen Gründe für die als geringer eingeschätzte Bedeutung der im Projekt nicht-berücksichtigten Optionen. Damit wird ein Referenzrahmen geschaffen, vor dem die drei ausgewählten Optionen (wartungsfreie Tiefenlagerung, Tiefenlagerung mit Rückholbarkeit, Oberflächenlagerung) ihre jeweiligen Stärken und Schwächen beweisen können. Nur vor diesem Hintergrund können die „guten Gründe“ für die Favorisierung einer kleineren Zahl an Optionen robust erhärtet werden. Eine besondere Rolle spielt dabei die Beschreibung der unterschiedlichen Endlager-Systeme, die unter anderem im Rahmen der Auswertung internationaler Erfahrungen bei der Analyse international praktizierter Vorgehensweisen (Arbeitspakete 3.2.1 und 3.2.2 / ITAS und FU Berlin) herausgearbeitet werden. Im Hinblick auf die Interdisziplinarität ist es erfolgversprechend, sich an den Konzepten problemorientierter Forschung anzulehnen[7]. Dazu wird zu Beginn des Projektes ein „problem scoping“ durchgeführt, das in der Technikfolgenabschätzung klassisch angewendet wird. Dabei werden die unterschiedlichen Problemwahrnehmungen der disziplinär verankerten Projektpartner transparent gemacht und darauf aufsetzend die gemeinsamen Fragestellungen herausarbeitet. Diese werden in einem gemeinsamen Workshop im sechsten Projektmonat zusammengetragen und dokumentiert.

Deskription und Iteration. In Abständen von sechs Monaten verständigen sich die Projektleiter insbesondere über die Prämissen und konzeptionellen Grundlagen der Vertikalprojekte – also der Basis für die Beschreibung der drei Entsorgungsoptionen. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Grundlagen im Laufe des Projekts aufgrund der in den einzelnen Projekten erzielten Ergebnisse weiterentwickeln. Diese Entwicklung ist innerhalb der Plattform zu diskutieren und zu kommunizieren. Im Arbeitspaket wird gesichert, dass die Plattform mit einer disziplinübergreifenden Terminologie und Semantik arbeitet.

Synthese. Im Arbeitspaket werden die Bewertungsgrundlagen (Kriterien, Maßstäbe) zur Einschätzung der betrachteten Entsorgungsoptionen zusammengeführt und gegebenenfalls weiterentwickelt, um so zu einem Satz von Maßstäben zu gelangen, die später in einer multikriteriellen Analyse genutzt werden können. Wichtigste Eingangsgröße hierzu sind die Ergebnisse der Transversalprojekte. Laufend, aber insbesondere in der zweiten Projektphase (Monate 37-60), werden die Ergebnisse der Vertikalprojekte diesen Maßstäben gegenübergestellt, um so einerseits deren Tauglichkeit sowie andererseits die Verwertbarkeit der Ergebnisse der Vertikalprojekte zu sichern und damit Bewertungsgrundlagen zu schaffen. Schlussfolgerungen beziehen sich insbesondere auf die durch die Transversalprojekte zu formulierenden Maßstäbe und die durch die Vertikalprojekte erzielten Ergebnisse. Daraus werden wiederum Anforderungen an die einzelnen Transversal- und Vertikalprojekte abgeleitet und die Erfüllung dieser Anforderungen überprüft. Schließlich können in der letzten Projektphase die Ergebnisse in Handlungsszenarien transformiert werden, die aus dem Kontext der Plattform heraus gut begründbar sind und innerhalb derselben darstellbar ist, welche Pfade für die Problemlösung alternativ mit welchen Vorteilen und „Kosten“ möglich sind.

[7] Decker, M. (2010): Interdisziplinäre Wissensgenerierung in der TA – Eine Prozessbeschreibung. In: Bogner, A., Kastenhofer, K., Torgersen, H. (Hrsg.), Inter- und Transdisziplinarität im Wandel? Neue Perspektiven auf problemorientierte Forschung und Politikberatung. Baden Baden: Nomos.
Bechmann, G. / Fredrichs, G. (2011): Problemorientierte Forschung - Zwischen Politik und Wissenschaft, In: Systemforschung – Politikberatung und öffentliche Aufklärung. Coenen, Reinhard / Simon, Karl-Heinz (Hg.), Kassel: Kassel University Press 308-328

Wichtigstes Werkzeug im Arbeitspaket sind die im Abstand von sechs Monaten durchzuführenden Treffen der Projektleiter mit dem Sprecherrat (Klausuren). Erste Vorarbeiten in diesem Feld liegen vor, beziehen sich jedoch nicht auf die hier favorisierten Vertikalprojekte. Es bestehen Erfahrungen zur Arbeit zum Entsorgungsthema in multidisziplinären Teams.[8]
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Teil des Transversalprojekts 1 „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“.
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Nutzung von Maßstäben / Kriterien aus den Transversalprojekten, insbesondere fachliche Diskussion der Problemdefinition in Modul ITAS-A in AP 3.2.1.. Verwertung von Ergebnissen (Kenngrößen / Charakteristika von Entsorgungsoptionen) der Vertikalprojekte. Formulierung von Anforderungen bezüglich der Maßstäbe, Kriterien, Kenngrößen und Charakteristika an die einzelnen Projekte und periodische Überprüfung. Interdisziplinäre Zusammenführung der Projekte.
Beginn / Laufzeit: Monat 1-60

[8] Peter Hocke / Ortwin Renn (2009): Concerned public and the paralysis of decision-making: nuclear waste management policy in Germany. In: Journal of Risk Research, 12/7+8 (2009), S. 921-940
Streffer, C., Gethmann, C. F., Kamp, G., Kröger, W., Rehbinder, E., Renn, O. und Röhlig, K.-J. 2011: Radioactive Waste. Technical and Normative Aspects of its Disposal. Berlin, Heidelberg: Springer.

3.2 Transversalprojekt „Technikfolgenabschätzung und Governance“

Die Einführung neuer Technologien hat häufig unerwartete und unerwünschte Auswirkungen auf die Umwelt und Gesellschaft, in deren Kontext diese Technologien stehen und in denen sie den vorgesehenen Zweck erfüllen sollen. Diese Verknüpfungen der technische Vorhaben und Artefakte mit Umwelt und Gesellschaft sowie deren unerwünschte Folgen sind komplex und nicht ohne weiteres vorhersehbar. Sie werden mit den Methoden und Verfahren der Technikfolgenabschätzung problemorientiert untersucht. Auch der bestehende gesellschaftliche Konflikt um die Entsorgung radioaktiver Abfälle ist als eine unerwünschte Nebenfolge bei der Einführung von Entsorgungstechnologien zu begreifen. Zu seiner Lösung zeichnet sich die Tendenz ab, Elemente modernen Regierens („Governance“) einzusetzen. Dabei besteht die Herausforderung darin, Bürger und interessierte Öffentlichkeit sowie zentrale Stakeholder in den Dialog über die Einführung und Umsetzung der Entsorgungstechnologien einzubeziehen. Die eingesetzten Elemente der Beteiligung müssen dabei inhaltlich an den bestehenden Kontroversen und Konflikten ansetzen und zu Entscheidungen führen, die für nennenswerte Planungszeiträume der Entsorgung ein ausreichendes Maß an Robustheit versprechen.

Die Plattform greift diese Problematik auf und analysiert den bestehenden Entsorgungskonflikt in seiner Komplexität sowie verschiedene Variablen einer modernen „Governance nuklearer Entsorgung“. Dabei werden u.a. Erfahrungen mit der Einführung vergleichbarer Technologien sowie internationale Erfahrungen mit verschiedenen Governance-Konzepten untersucht, um Aussagen über die Plausibilität, Durchführbarkeit und Erfolgschancen verschiedener Governance-Konzepte treffen zu können. Ein Beispiel für das Ineinandergreifen naturwissenschaftlicher und nichttechnischer Aspekte bilden hier die zu erarbeitenden Aussagen über zu erwartende Strahlendosen bei den verschiedenen Entsorgungskonzepten, sowie entsprechende regulatorische Ansätze der Strahlenschutzverordnung (StrSchV) und zugehöriger Allgemeiner Verwaltungsvorschriften (AVV). Ein Austausch über Spezifika der Entsorgungsoptionen als Technologien und deren Nebenfolgen sowie über politische, zivilgesellschaftliche, regulatorische, ethische und juristische Kontexte, internationale Erfahrungen mit vergleichbaren Vorhaben sowie eine kritische Sichtung der einschlägigen Governance-Konzepte und -Instrumente ist Kernbestandteil des interdisziplinär ausgerichteten Arbeitspaketes.

3.2.1 AP „Governance zwischen Wissenschaft und öffentlichem Protest“ (KIT, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse)

Titel / Langfassung:
Governance zwischen Expertise, öffentlichem Protest und Regierungshandeln. Konfliktlinien einer komplexen Entscheidungslage und Herausforderungen für die Suche nach einer robusten Entscheidung

Module:
1. ITAS-A „Governance 1: Gegenwartsdiagnose und Problemdefinition“
2. ITAS-B „Governance 2: Schnittstellen zwischen formellem und informellem Prozess“
3. ITAS-C „Auswege aus klassischen Dilemmata der Entscheidungsfindung“ (Fokusgruppen)
4. ITAS-D / FU-Berlin: „Auswertung internationaler Erfahrungen anhand ausgewählter Staaten“ (Internationaler Vergleich)
5. ITAS-E „Koordination Transversalprojekt, TA und Governance’“

Bearbeiter:
Dr. Peter Hocke-Bergler + N.N.

Gesamtziel des Vorhabens:
Die aktuelle Herausforderung bei der nuklearen Entsorgung ist ein Kernproblem modernen Regierens („Governance“). Komplexe Erwartungen unterschiedlichster Akteure treffen dabei auf kontroverse inhaltliche Positionen, die sich in einem langwährenden innenpolitischen Konflikt zu stabilen Konfliktlinien verdichtet haben. Die Suche nach innovativen Sachlösungen bei den drei Schlüsseloptionen der nuklearen Entsorgung in Deutschland in einem optimierten Verfahren bedarf systematischer „Gegenwartsdiagnose und Problemdefinition“ sowie einer vertieften Reflexion über vorhandene und zu schaffende Schnittstellen, die die Einbindung der formellen und informellen Entscheidungsprozesse unter zivilgesellschaftlichen Bedingungen sicherstellen. Dazu sind plausible Governance-Konzepte und Handlungsoptionen zu präzisieren.

Wissenschaftliche Arbeitsziele des Vorhabens und Stellung innerhalb des Gesamtantrags:
Die Befunde liefern aus Perspektive der Technikfolgenabschätzung und sozialwissenschaftlicher Konfliktanalyse Grundwissen über a) die Ausgangslage des Entsorgungsdilemmas, b) die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und Nebenfolgen für die diskutierten Entsorgungsoptionen und c) Möglichkeiten verfahrensmäßiger Ausgestaltung.

Verbindungslinien zu anderen Arbeitspaketen und externen Partnern:
Das Arbeitspaket ist in den Transversalprojekten 3.1 „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“, 3.2 „Technikfolgenabschätzung und Governance“ und 3.4 „Interdisziplinäre Risikoforschung“ verankert. Querverbindungen verschiedener Art gibt es weiterhin zu Ansätzen, (1) die die Umsetzungsmöglichkeiten von Endlagerkonzepten und Endlagertechniken als technische Optionen mit der Optimierung eines zivilgesellschaftlichen Verfahrens in Verbindung bringen, Möglichkeiten der Kompromissbildung ausloten und Konfliktmanagement insbesondere über Risikoaspekte (AP 3.4.3 „Interdisziplinäre Risikoforschung“) bearbeiten; ebenso (2) zu Ansätzen der Operationalisierung von Verfahrensgerechtigkeit und Fairness (AP 3.3.1 „Umweltethik“) sowie dem (3) Regieren im Mehr-Ebenen-System (AP 3.2.2 „Nukleare Entsorgung aus Multi-Level-Governance-Perspektive“), aber auch (4) verfassungsrechtlich-juristischen Grundlagen (AP 3.3.2 „Verfassungsrechtliche Anforderungen und verwaltungsrechtliche Implikationen“). Externe Forscher werden problemorientiert hinzugezogen (Beratung).

Stand der Forschung und Vorarbeiten des Antragstellers:
Es besteht ein Defizit interdisziplinärer Forschung, die Schlüsseloptionen der nuklearen Entsorgung mit den damit zusammenhängenden sozialen Konflikten und der Entwicklung problemorientierter Governance-Konzepte verknüpft und Entscheidungsgrundlagen entwickelt.
Seit 2001 hat ITAS zu Fragen der Governance, TA und sozialwissenschaftlichen Forschung gearbeitet. Wichtige Veröffentlichungen sind Hocke / Grunwald 2009, Hocke/ Renn 2009, Hocke 2009, Grunwald 2010 und Kuppler 2012 / i.E.

Beschreibung des Arbeitsplans:
Zeitliche Einordnung der Module: Das Modul ITAS-A (Gegenwartsdiagnose und Problemdefinition) wird bis zum Monat 30 abgeschlossen; ITAS-B beginnt ebenso wie A zu Projektbeginn. Der Kern der analytischen Arbeiten wird bis Monat 36 geleistet; in den Monaten 37 bis Projektende werden Aktualisierungen vorgenommen. ITAS-D (Auswertung internationaler Erfahrungen) beginnt im Monat 7 und läuft bis zum Projektende. ITAS-C (Fokusgruppen) dauert von Monat 36 bis 60. ITAS-E (Koordination Transversalprojekt TA und Governance) baut auf die projektintern entwickelte interdisziplinäre Problemstellung auf und bündelt zentrale Ergebnisse im Kontext von Technikfolgenabschätzung und Governance. Es läuft von Monat 6 bis Monat 60.
Methoden: Methodisch bauen die ITAS-Module auf etablierte quantitative und qualitative Verfahren der Sozialwissenschaften auf. Dazu gehören insbesondere Leitfaden-Interviews, Fallstudien, Inhaltsanalyse und Desk Research sowie Verfahren der Technikfolgenabschätzung (wie Problem-Scoping, Fokusgruppen).

Deliverables:
Erster Zwischenbericht (M12)
Zweiter Zwischenbericht (M36)
Endbericht (M60)
Proceedings und ein Workshop zu Modul ITAS-D (Auswertung internationaler Erfahrungen in zwei Ländern)
Berichte zu den Fokusgruppen (Modul ITAS-C)
Qualifikationsarbeiten
Aufsätze in Fachzeitschriften (national und international)

Beginn / Laufzeit:
Die Arbeit an dem Teilprojekt hat zeitgleich mit der Bearbeitung des Forschungsvorhabens insgesamt zu beginnen. Innerhalb von drei Jahren (2012-15) lassen sich die Basisbefunde erstellen. In einem zweiten Schritt (2016-17) werden Entscheidungspfade / Szenarien der Konfliktbearbeitung in Kooperation mit den Vertikalprojekten und allen Forschungspartnern vor dem Hintergrund der Auswertung internationaler Erfahrungen präzisiert.

3.2.2 AP „ Nukleare Entsorgung aus Multi-Level-Governance-Perspektive“ (FUB, Forschungszentrum für Umweltpolitik)

Titel / Langfassung:
International vergleichende Analyse von Endlagerungs-Governance im Mehrebenen-System unter besonderer Berücksichtigung von Akteuren, Politikinstrumenten und Institutionen

Module:

1. Akteurs-Analysen (gemeinsam mit ITAS)
2. Akzeptanz und Konflikte
3. Governance im Mehr-Ebenen-System
4. Endlagerungskonzepte und Optionen im internationalen Vergleich (gemeinsam mit ITAS)
5. Politikinstrumente und Institutionen

Bearbeiter:

Prof. Dr. Miranda Schreurs, N.N.

Kurzbeschreibung:

Modul 1 „Akteurs-Analyse“

Das Thema Endlagerung gehört zu einer Problemkategorie, die in der politikwissenschaftlichen Literatur als “messy“ oder „wicked problem“ bezeichnet wird. Dabei handelt es sich um besonders schwierig zu lösende, komplexe Probleme, die durch eine Reihe von Unsicherheiten charakterisiert sind. Aufgrund tief gehender Differenzen bei Werten und Präferenzen der Stakeholder, die unterschiedliche Ansichten zu erwünschten Ergebnissen haben, entstehen Konflikte (Ney 2009; Balint, Stewart, Desai, Walters 2011). Es handelt sich um Probleme, bei denen Veto-Spieler den Politikwandel blockieren können (Tsebelis 2002). Um mit dieser Art von „wicked policy problems“ umgehen zu können, ist es wichtig zu verstehen, wie verschiedene Akteure Probleme und Problemlösungen wahrnehmen und gestalten (Snow & Bedford 1988), welches ihre Interessen und Core-Beliefs sind (Sabatier & Jenkins-Smith 1988) und wie der Politikwandel erfolgt (Baumgartner & Jones 1993). Ferner ist zu ermitteln, welche Netzwerke und Lernprozesse dazu betragen, diese Art von „wicked problems“ zu überwinden (Balint, Stewart, Desai, Walters 2011).

Das erste Modul dient der Identifikation der Schlüsselakteure und Interessen, ihrer Wertesysteme und Ansichten, wie sie Themen bearbeiten und ob es Wege für konstruktive Dialoge und zur Problemlösung gibt.

Modul 2 „Akzeptanz und Konflikte“

Klassische Akzeptanz-Konflikte in einer Reihe von relevanten, demokratischen Industrieländern, deren Entstehung, Struktur und Verlauf, werden mit dem Ziel der Übertragbarkeit auf Deutschland sekundäranalytisch untersucht.

Die Sekundäranalyse quantitativer und qualitativer Umfrage-Daten und von repräsentativen Surveys zur Akzeptanz der nuklearer Entsorgung in Europa, Japan, Nordamerika und Süd-Korea ermittelt Daten und Informationen zum Stand und zur Entwicklung der Einstellungen zu radioaktiven Abfällen sowie zur Endlagerproblematik im öffentlichen Bewusstsein. Ferner werden in ausgewählten Fällen Einstellungen von Stakeholdern und verschiedenen Akteurs-Typen durch face-to-face Interviews erhoben und ausgewertet.

Modul 3 „Governance im Mehr-Ebenen-System“

Mit dem Multi-Level Governance-Konzept werden Entscheidungsprozesse und die Rolle von beteiligten Politikakteuren auf den verschiedenen Entscheidungsebenen am Beispiel der Endlagerungsoptionen innerhalb sowie zwischen den Bundesländern, der Bundesregierung und der EU untersucht. Unterschiedliche Endlagerungsoptionen werden in Einzelinterviews mit Stakeholdern erörtert und die jeweiligen Positionen mit dem SWOT Schema (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) bestimmt und evaluiert. Mit ausgewählten Stakeholdern werden Elemente der SWOT-Analyse in einem Workshop diskutiert, insbesondere wie die Chancen und Risiken (O-T) minimiert und Gefahren mit den aus der SWOT-Analyse identifizierten Stärken begegnet werden können. Es sollen u.a. Antworten zu den Fragen gefunden und kategorisiert werden, welche Entscheidungsprozesse als legitim angesehen und welche ethischen, rechtlichen, regionalen und sozioökonomischen Probleme in Entscheidungsprozessen berücksichtigt werden müssen.

Modul 4 „Endlagerungskonzepte und Optionen im internationalen Vergleich“

Endlagerungsoptionen, relevante Governance-Konzepte, Formen von Öffentlichkeitsbeteiligung und „Community Relations“, in Europa (Großbritannien, Frankreich, Belgien, Niederlande, Spanien, Italien, Schweiz und Schweden) und außerhalb (USA; Japan Südkorea, Kanada) werden inem einem literaturbasierten Vergleich analysiert und diskutiert. Nach der Auswertung der internationalen Erfahrungen wird FFU maximal sechs vertiefende Fallstudien zur Entwicklung in Europa und außerhalb anfertigen. ITAS wird arbeitsteilig die Fallstudien Schweiz und Schweden übernehmen. Darüber hinaus werden

Problemlagen und Erfahrungen in weiteren Ländern im Rahmen von Experten-Workshops erfasst und ausgewertet.

Modul 5 „Policy-Instrumente und Institutionen“

Policy-Instrumente (z.B. Regulierung von Rückholbarkeit, Sicherheitskriterien, Monitoring-Systeme, Kompensationslösungen, etc.) sowie wissenschaftliche und institutionelle Prozesse, die mit der nuklearen Entsorgung verbunden sind, werden analysiert und bewertet. In verschiedenen politischen Systemen existieren unterschiedliche Erfahrungen und Pfadabhängigkeiten bei der Anwendung von Policy-Instrumenten. Die Analyse wird vor allem Schwerpunkt auf den Instrumenten-Mix und die damit verbundenen institutionellen Konfigurationen legen.

5a „Erfahrung mit verschiedenen Policy-Instrumenten: eine Bestandsaufnahme“

Dieses Modul ermittelt, welche Instrumente und Institutionen für Sicherheits- und Monitoring-Systeme und Prozesse geeignet sind. Die Analyse beinhaltet zugleich die Erwartungen, Wahrnehmungen und Sichtweisen der verschiedenen Stakeholderund wird durch face-to-face Interviews mit Hauptakteuren und Stakeholdern und eine informelle Anhörung (Workshop) flankiert.

5b „Vergleichende Analyse“

Die vergleichende Analyse ermittelt die Determinanten für Erfolg und Misserfolg der analysierten Instrumente. Die Ergebnisse der Analyse werden in einer Abschlußkonferenz mit relevanten Stakeholdern erörtet. Dabei geht es insbesondere um die Frage der Legitimierung und um die Machbarkeit und Durchführbarkeit in verschiedenen regionalen Konfigurationen und die Legitimierungsfrage.

Eingesetzte Methoden, Aktivitäten und Deliverables in den FFU-Modulen:

Neben Dokumenten und „Desk-top“ Forschung werden auch direkte und vertiefende Interviews mit strukturierten und offenen Fragen mit relevanten Stakeholdern durchgeführt.

Folgende **Arbeitsweisen** werden verwendet:
- Dokumentenanalyse
- Desk Forschung
- Empirische Erhebungen in den ausgewählten Fall-Studien
- Vergleichende Analysen
- Leitfaden für Interviews und Experten-Gespräche
- Face-to face Interviews mit Hauptakteuren und relevanten Stakeholdern
- informelle Anhörungen
- SWOT Analysen (Strength/Weakness/Opportunities/Threaths)

Aktivitäten

- Zwei Experten-Workshops
- Interviews mit Entscheidungsträgern
- Zwei Internationale Sessions im Rahmen der Jahresmeetings der „REFORM Group“ in Salzburg mit Wissenschaftlern und Politikberatern aus Finnland, Schweden, Spanien, Großbritannien, USA, Japan, Belgien, Italien u.a.
- Veranstaltungen für Doktoranden (möglicherweise als Summer School?)

Deliverables

Input-Paper Akteurs-Analyse
Zwischenbericht
Endbericht
Proceedings der Workshops und intern. Sessions (Modul 3, 4 und 5)
Beiträge für Sammelbände bzw. Artikel in internationalen Zeitschriften (alle Module)
Edition „Comparative Approaches on Nuclear Waste Governance“ (Modul 3)
Qualifizierungsarbeiten von MA- und PhD-Studenten (alle Module)

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:

Die vergleichende Analyse internationaler Erfahrungen mit Entsorgungsoptionen und Governance-Konzepten vermittelt allen Teilprojekten und Forschungspartnern sowie der Öffentlichkeit relevantes Basiswissen. Mit den Methoden der Policy-Analyse werden Informationen über Akteure, Instrumente und Institutionen gewonnen, Politikprozesse und -entscheidungen transparent gemacht und Handlungsoptionen für Entscheidungen in der Zukunft skizziert.

Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten:

Das Teilprojekt ist in den Transversalprojekten „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“, „Technikfolgenabschätzung und Governance“ und „Interdisziplinäre Risikoforschung“ verankert. Die Module 1 und 4 werden arbeitsteilig mit ITAS bearbeitet. Alle Module haben Querverbindungen zu Teilprojekten mit interdisziplinären Schnittstellen, insbesondere zu denen, die internationale Erfahrungen und Möglichkeiten der Übertragung von erfolgreichen Politikinstrumenten beinhalten.

Beginn / Laufzeit:

Das Teilprojekt wird in den ersten drei Jahren (2012-15) Basisbefunde erheben und veröffentlichen. In der zweiten Phase (2016-17) sollen vor dem Hintergrund der Auswertung internationaler Erfahrungen in Kooperation mit den Vertikalprojekten und allen Forschungspartnern partizipative Strategien und Entscheidungspfade / Szenarien der Konfliktbearbeitung entwickelt werden.

3.2.3 AP „Kritische Evaluation der AVV zu §47 StrlSchV“

(LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz)

Titel / Langfassung: Kritische Betrachtung und ggf. Empfehlungen zur Anpassung der AVV zu §47 StrlSchV hinsichtlich der Radioökologie oberflächennahen Grundwassers.
Bearbeiter: Prof. Dr. C. Walther + N.N
Kurzbeschreibung: Der Wasserpfad der allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zu §47 StrlSchV bezieht sich auf Ableitungen in einen Vorfluter, nicht auf die Radioökologie oberflächennahen Grundwassers und ist daher für die Beurteilung der Dosis aufgrund Radionuklidmigration in Grundwasserleitern nur bedingt geeignet. Im vorliegenden Projekt sollen die vorhandenen Werte auf ihre Eignung untersucht und gegebenenfalls angepasst werden. Neben der naturwissenschaftlichen Arbeit zu Transferfaktoren und Dosiskonversionsfaktoren wird die Kommunikation dieser und gleichartiger Erkenntnisse auf Expertenebene untersucht. Relevante wissenschaftliche Zielgruppen und Kommunikationsorgane werden recherchiert sowie der Kommunikationsbedarf ermittelt. Aufbauend auf den Ergebnissen werden die forschungsbasierten Erkenntnisse der Plattform Expertengremien außerhalb der Plattform zielgruppenadäquat zur Verfügung gestellt.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Teil des Transversalprojekts „Technikfolgenabschätzung und Governance“
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Querverbindungen bestehen zu den AP „Einfluss der Radionuklidspeziation auf Transferfaktoren“ (3.4.6), AP „Vergleich der radiologischen Gefährdung für verschiedene Entsorgungsoptionen“ (3.4.2) und AP „Radionuklidquellterme für verschiedene Entsorgungsoptionen“ (3.4.4) im Hinblick auf die Quantifizierung des Radionuklidaustrages aus einem Endlager. Überdies bestehen Verbindungslinien zum AP „Vernetzung, Koordination und Kommunikation“ (3.1.1) im Transversalprojekt „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“ sowie zum AP „Interdisziplinäre Risikoabschätzung“ (3.4.3) im gleichnamigen Transversalprojekt.
Beginn / Laufzeit: Monat 1-36

3.2.4 AP „Wissensstand und Einschätzung in der Bevölkerung“

(LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz)

Titel / Langfassung: Gegenwartsanalyse der Bewertung von Entsorgungsoptionen und -strategien radioaktiver Abfälle aus Sicht kommunaler Entscheidungsträger und lokaler Bevölkerung.
Bearbeiter: Prof. Dr. C. Walther + Prof. Dr. M. Schreurs + N.N.
Kurzbeschreibung: Innerhalb dieses Moduls wird eine Erhebung des Wissensstands der Bevölkerung sowohl bezüglich Radioaktivität als auch hinsichtlich der Entsorgung nuklearen Abfalls und den damit verbundenen Endlager-Optionen durchgeführt. Dabei soll untersucht werden, welche Vorstellungen, inhaltliche Positionen und Bilder innerhalb unserer Gesellschaft zum Thema Radioaktivität existieren und wie gegenwärtig diskutierte Entsorgungsoptionen in diesem Kontext bewertet werden. Das Forschungsdesign besteht aus einer Triangulation aus qualitativen und quantitativen Methoden. Während der Schwerpunkt in der inhaltsanalytischen Auswertung qualitativer

Interviews mit kommunalpolitischen Akteuren aus Regionen liegt, die mit der Deponierung sog. *gefährlicher Abfälle* bereits Erfahrungen sammeln konnten, wird ergänzend eine breitere quantitative Befragung der Bevölkerung durchgeführt. Das Ziel dieses Moduls besteht in einer Gegenwartsanalyse kommunaler Rahmenbedingungen und lokaler Bewertungen möglicher Entsorgungsoptionen sowie wahrgenommener Entsorgungsprobleme und -perspektiven in Bezug auf radioaktive Abfälle. Die sich daraus abzuleitenden Empfehlungen sollen sich an die Gestaltung zukünftiger Entsorgungskonzepte und dabei insbesondere an den Bereich Governance richten.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Teil des Transversalprojekts „Technikfolgenabschätzung und Governance“. *Gemeinsame Betreuung* eines Doktoranden sozialwissenschaftlicher Ausbildung mit einem übergreifenden Thema in *enger, bereits bestehender Kollaboration* aus vorangegangenem interdisziplinärem Projekt mit naturwissenschaftlichem Partner (3.2.2)
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Querverbindungen gibt es innerhalb des Transversalprojekts „Technikfolgenabschätzung und Governance“ zu den AP „Governance zwischen Wissenschaft und öffentlichem Protest“ (3.2.1) und „Nukleare Entsorgung aus Multi-Level-Governance-Perspektive“ (3.2.2). Überdies bestehen Verbindungslinien zum AP „Vernetzung, Koordination und Kommunikation“ (3.1.1) im Transversalprojekt „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“, zum AP „Umweltethik“ (3.3.1) im Transversalprojekt „Ethisch-moralische Begründung, rechtliche Voraussetzungen und Implikationen“ sowie zum AP „Interdisziplinäre Risikoabschätzung“ (3.4.3) im gleichnamigen Transversalprojekt.
Beginn / Laufzeit: Monat 1-36

3.3 Transversalprojekt „Ethisch-moralische Begründung, rechtliche Voraussetzungen und Implikationen“

Jede Beschäftigung mit der Entsorgung radioaktiver Reststoffe ist letztlich problemlösungs- und entscheidungsorientiert. Auch technik- und sozialwissenschaftliche Forschungen auf dem Gebiet stehen im Horizont dieses praktischen Erkenntnisinteresses. Das zu lösende Problem besteht darin, auf transparentem und fairem Wege eine möglichst sichere langfristige Lagerung dieser Stoffe zu gewährleisten. Dies ist auch das Ziel des gegenwärtig diskutierten Standortauswahlgesetzes. Die durch die Gesetzgebung zu treffende Entscheidung bezieht sich auf die Auswahl eines (oder mehrerer) jeweils für sich geeigneter Standorte. Die Eignung der Standorte, wie immer sie kriteriologisch definiert werden mag, ist eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für diese Entscheidung, falls es mehr als nur genau einen geeigneten Standort geben sollte.

Wenn vorausgesetzt werden muss, dass Stör- und Schadensereignisse nicht ausgeschlossen sind, also ein Risiko besteht, dann wird den Anliegern eines Standortes von den Entscheidern ein solches Risiko zugemutet. Dieses Risiko lässt sich zwar technisch reduzieren (nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß), aber die Erfahrungen mit Bürgerprotesten lehren, dass die Anhebung technischer Sicherheitsstandards allein nicht zur Akzeptanz der Betroffenen führt. Dies gilt auch für Kompensationsangebote, die den Unwillen der Betroffenen sogar noch verstärken können.

Deshalb legt das Transversalprojekt großen Wert auf ethische, juristische und politikwissenschaftliche Rechtfertigungsrationalität. Letztere ist diskursiv und bezieht sich auf Legitimitätsbedingungen wie Grundrechtskompatibilität, Rechtsstaatlichkeit, Gewaltenteilung, materielle Sicherheitsstandards und Verfahrensgerechtigkeit. Rechtfertigungsrationalität sollte generell „ex ante“ erfolgen, da Rechtfertigungen „ex post“, d.h. nach einer Entscheidung von den Betroffenen, erfahrungsgemäß abgelehnt werden.

Rechtfertigungsrationalität bezieht sich inhaltlich auch auf eine Abwägung der Vor- und Nachteile der genannten drei Grundoptionen der Entsorgung. Eine solche Abwägung kann niemals werturteilsfrei erfolgen und erfordert daher eine Reflexion auf die in die Abwägung investierten Wertvorstellungen und normativen Grundsätze (wie etwa Reversibilität). In der Dimension der Standortsuche bezieht sie sich nicht direkt

(intentione recta) auf einzelne in Frage kommende Standorte, sondern indirekt (intentione obliqua) auf die Akzeptabilität / Zustimmungswürdigkeit des Suchverfahrens selbst. Ein hohes Maß an prozeduraler Fairness einschließlich partizipativer Bürgerbeteiligung begründet eine Vermutung der Richtigkeit des Ergebnisses.

Aufgabe des Transversalprojekts und der einzelnen Teilprojekte ist eine umfassende sozial- und rechtswissenschaftliche Explikation und Beförderung von Rechtfertigungsrationalität.

3.3.1 AP „Umweltethik“ (CAU, Institut für Philosophie und Ethik der Umwelt)

Titel / Langfassung:
Sicherheit, Gerechtigkeit, Diskurs: Kriterien, Verfahren und Gründe für die Endlagersuche

Bearbeiter:
Prof. Dr. Konrad Ott + N.N.

Kurzbeschreibung:

1. Es wird eine Analyse der im Kontext der Endlagerdebatte gebrauchten normativen Begriffe vorgenommen: Verantwortung, Risiko, Sicherheit, Abwägung, Gerechtigkeit, Vertrauen, Kompensation, Zumutbarkeit. (*Begriffsanalyse, 1. Jahr*)
2. Die Begriffe sollen mit Blick auf die Endlagersuche spezifiziert werden. (*Operationalisierung, 1. Jahr*)
3. Es werden die vorhandenen ethischen Beiträge zur Endlagerproblematik ausgewertet und kritisch reflektiert. Es wird eine Übersicht der internationalen Beiträge aus ethischer Sicht in der Form einer Argumentationslandkarte angefertigt. (*Literaturübersicht, 1. und 2. Jahr*)
4. Aus der Begriffsanalyse und der Literaturübersicht heraus sollen Kriterien für die vergleichende Bewertung von möglichen Endlagerstätten entwickelt bzw. zur Diskussion gestellt werden. (*Kriteriologie, 2. Jahr*)
5. Die in Deutschland im politischen Raum vorhandenen Positionen und mögliche legislative Prozesse werden auf ihre normativen Voraussetzungen hin analysiert. (*Präsuppositionsanalyse, 2. Jahr*)
6. Es werden Bedingungen der diskursiven Rechtfertigbarkeit von Endlager-Entscheidungen identifiziert (*Legitimitätsbedingungen, 2. und 3. Jahr*)
7. Es wird ein modulartig aufgebautes Verfahrenskonzept zu einer umfassend transparenten und fairen Endlagersuche konzeptionell entwickelt. Die einzelnen Module werden im Detail untersucht. (*Verfahrensgerechtigkeit, 3. Jahr*)
8. Es wird ein DELPHI-Verfahren unter Experten konzipiert, durchgeführt und ausgewertet. *(DELPHI, 3. und 4. Jahr)*
9. Es wird ein Bürgerforum zur Endlagerproblematik konzipiert, durchgeführt und ausgewertet. (*Bürgerforum, 4. Jahr*)
10. Die Teilprojekte 1-7 werden nach Standards und für die Zwecke wissenschaftlicher Politikberatung kompakt aufbereitet. (*Politikberatung, kontinuierlich, Schwerpunkt im 5. Jahr*)
11. Es wird der Forschungs-Plattform kontinuierlich und angebotsorientiert zugearbeitet. *(kontinuierlich)*

Für die 11 Module sind insgesamt fünf Jahre Projektlaufzeit vorgesehen. Aus jedem Modul geht ein Aufsatz in einer internationalen peer-reviewed Zeitschrift hervor. Aus dem Teilprojekt geht eine Monographie hervor. Die Ergebnisse werden kontinuierlich adressatengerecht in die politische Öffentlichkeit kommuniziert.

Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Teil des Transversalprojektes „Ethisch-moralische Begründung, rechtliche Voraussetzungen und Implikationen“
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Querverbindungen zu allen übrigen Teilprojekten
Beginn / Laufzeit: Monat 1-60

3.3.2 AP „Verfassungsrechtliche Anforderungen und verwaltungsrechtliche Implikationen“ (TUBS, Institut für Rechtswissenschaften)

Titel / Langfassung: Konsequenzen aus Verfassungsprinzipien und dem Grundrecht auf Nachweltschutz für die Bewertung von Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe und daraus resultierende Implikationen für das Verwaltungsverfahren und den verwaltungsgerichtlichen Rechtschutz
Bearbeiter: Prof. Dr. Edmund Brandt + N. N.
Kurzbeschreibung: 1. Der Bedeutungsgehalt der Verfassungsprinzipien Demokratie, Gewaltenteilung (in der hier relevanten spezifischen Ausprägung), des Föderalismusprinzips und des Grundrechts auf Nachweltschutz (als explizite Normierung von Nachhaltigkeit) wird herausgearbeitet. 2. Aus den Befunden werden Konsequenzen für die im Einzelnen zur Diskussion stehenden Entsorgungsoptionen in ihrer jeweiligen Ausformung abgeleitet. Auf die Weise entstehen verfassungsrechtliche Leitplanken, die sowohl für die Instrumentenausformung als auch für mögliche legislative Prozesse relevant werden. 3. In einem kontinuierlichen interaktiven Prozess wird die Kompatibilität von sich abzeichnenden Lösungsansätzen mit verfassungsrechtlichen Anforderungen geprüft. In dem Maße, in dem sich die jeweiligen Entsorgungsoptionen verdichten, lässt sich einerseits ermitteln, in welchem Maße den eingangs entwickelten normativen Anforderungen Rechnung getragen wird; andererseits können konkrete Anforderungen – nicht zuletzt in Bezug auf organisatorische Festlegungen – formuliert werden. Unabhängig davon, zu welchen konkreten instrumentellen Ausformungen es kommen wird, steht fest, dass es nicht bei bisherigen verwaltungsverfahrensrechtlichen Ausprägungen bleiben wird. Vielmehr wird sowohl mit Blick auf die Projektträgerschaft als auch Behördenbeteiligung, wie auch die Implementierung partizipativer Elemente in vielfacher Hinsicht Neuland zu betreten sein. Damit sind Fragen in Bezug auf die Verzahnung mit dem bisherigen Rechtssystem bzw. seiner Weiterentwicklung anzugehen und zu beantworten. In einem weiteren Schritt sind die nicht unbeträchtlichen Auswirkungen auf insbesondere den verwaltungsgerichtlichen Rechtschutz zu untersuchen. Neben Publikationen, die sich mit den einzelnen verfassungs- und verwaltungsrechtlichen Ausprägungen befassen, ist eine umfassende monografische Behandlung beabsichtigt. Außerdem werden die Erkenntnisse kontinuierlich außerhalb der Plattform zielgruppenadäquat zur Verfügung gestellt.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Teil des Transversalprojekts „Ethisch-moralische Begründung, rechtliche Voraussetzungen und Implikationen“
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Verbindungslinien gibt es insbesondere zum Teilprojekt „Technikfolgenabschätzung und Governance“, zum Teilprojekt „Interdisziplinäre Risikoforschung“ und zum AP „Umweltethik“.
Beginn / Laufzeit:

Das Teilprojekt wird sich in den ersten drei Jahren (2012 – 2015) schwerpunktmäßig mit den verfassungsrechtlichen, in den letzten beiden Jahren (2016 – 2017) mit den verwaltungsrechtlichen Fragestellungen beschäftigen.

3.4 Transversalprojekt „Interdisziplinäre Risikoforschung“

Die Auseinandersetzung um Risiken, die mit technischen Einrichtungen der nuklearen Entsorgung verbunden sind, gehört zum Kranz von Kernthemen, die in der gesellschaftlichen Entsorgungsdebatte bisher nicht zufriedenstellend gelöst werden konnten. Die Formel „Risiko = Schadensgröße mal Eintrittswahrscheinlichkeit“, die aus der Versicherungswirtschaft stammt und in diesem gesellschaftlichen Teilbereich zur Abwicklung von Schadensfällen hochfunktional ist, ist bei spezifischen technischen Großprojekten an ihre Grenzen gestoßen. Daher bemühen sich die verschiedenen Disziplinen heute, das unter deutlicher Kritik stehende Risikomodell hochwertig zu erweitern. Dies geschieht einerseits, indem radiologische Belastungen innerhalb des jeweiligen technologischen Entsorgungskonzeptes zugeordnet und systematisiert werden. Dabei spielen Systematisierungen eine Rolle, die zwischen kurzen, mittleren und langen Zeiträumen unterscheiden. Bei den kurzfristigen sind zum Beispiel die Belastungen von Arbeitskräften zu berücksichtigen, die im Falle der Rückholungen (jenseits der Fernhantierung) mit den Bergungs- und Rückholprozessen befasst sind. Da die Strahlenexposition bei komplexen Rückholprozessen zu Notwendigkeiten der Zwischenlagerung führen kann und Transmutationskonzepte weitere Aufgaben des Handlings nach sich ziehen, sind mittlere Expositionsphasen ebenso zu bedenken und numerisch durchzuspielen wie langfristige Expositionsszenarien, die mit dem potentiellen Austrag aus einer Nukleardeponie bzw. einem Endlager nach sehr langen Zeiträumen zu tun haben. Die entsprechende Kalkulation der Expositionsgrößen, ihrer Anpassung an verschiedene Optionen und Szenarien sind dabei ebenso auf den Prüfstand zu stellen, wie die Prüfprozeduren im Rahmen eines anspruchsvollen Safety Case, der meist als Langzeitsicherheitsnachweis verstanden wird.

Da Stakeholder, die an der Debatte und fachlichen Klärung der Entsorgung beteiligt sind, bei der Bewertung der auftretenden Risikofragen in ihren Einschätzungen über Risiken und Gefahren der Entsorgung sehr unterschiedliche Positionen vertreten, sind diese in ihrer Multiperspektivität und ihren unterschiedlichen Facetten anzuerkennen. Wenn es um eine wissensbasierte Kommunikation dieser Sachverhalte geht, ist es angebracht, die unterschiedlichen Risikowahrnehmungen in ihrer Eigenlogik und ihren markanten Unterschieden aufzugreifen. Dabei sind Bereiche zu identifizieren, die von der klassischen Risikoforschung gut abgedeckt werden und numerisch auch optionenspezifisch abbildbar sind. Demgegenüber stehen aber wahrgenommene Unsicherheiten und Gefahren, die sich nicht umstandslos quantifizieren lassen, in einer anspruchsvollen Auseinandersetzung als Regulierungsproblem (Recht), als

Entscheidungsdilemma unter Bedingungen von Unsicherheit und begrenzten Wissen zu berücksichtigen oder als „wicked problem“ festzuhalten und auszuloten sind. Eine „umfassende Risikobetrachtung“ ist dabei das angemessene Verfahren, um Unsicherheiten nicht zu früh auszublenden und mit einem ausreichenden Bewusstsein hinsichtlich der unterschiedlichen Problemlagen interdisziplinär plausible Ansätze zu entwickeln, die die Grenzen der verschiedenen Methoden und Verfahren zur Risikoklassifizierung aktiv aufgreifen. Dabei sind die vielfältigen Risikowahrnehmungen in ihrer Spannbreite zu systematisieren und Vorschläge zu entwickeln, wie diese in Beratungs- und Entscheidungspfade der Entsorgungs-Goverance professionell eingebunden und mit nicht-gewollten Nebenfolgen abgeglichen werden können.

3.4.1 AP „Langzeitsicherheit von Tiefenlagern“ (TUC, Institut für Endlagerforschung)

Titel / Langfassung: Instrumentarien zur Beurteilung der Langzeitsicherheit von Tiefenlagern
Bearbeiter: Prof. Dr. K.-J. Röhlig + N.N.
Kurzbeschreibung: Ziel des Arbeitspakets ist ein erster Schritt zur Schaffung eines Softwarewerkzeugs, das die Bewertung der Langzeitsicherheit von Tiefenlagern und damit auch eine vergleichende Betrachtung und Beurteilung verschiedener Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe im Hinblick auf den Schutz vor radio- und chemotoxischen Stoffen und ionisierender Strahlung über lange Zeiträume unterstützt. Anwendungsbereich sind all die Entsorgungsoptionen, die einen langzeitig sicheren Einschluss der toxischen Materialien in tiefen geologischen Formationen zum Ziel haben (Ton / Salz / Kristallin, Bergwerke / tiefe Bohrlöcher, verschiedene Rückholbarkeitsoptionen, zum Beispiel Offenhaltung, Ausbau von Hohlräumen, Verrohrung von Bohrlöchern, angepasste Verfüll- und Verschlusskonzepte). Die Entwicklung soll komplementär zu den bereits existierenden und sich in der Weiterentwicklung befindlichen Programmen zur Bewertung der Langzeitsicherheit ein Werkzeug schaffen, das primär in der Aus- und Weiterbildung eingesetzt werden kann. Ziel ist die Entwicklung einer Softwareplattform zur Langzeitsicherheitsanalyse, die sicherheitsrelevante Prozesse in Endlagersystemen dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend numerisch modelliert und visualisiert und damit eine Beurteilung der Sicherheit der betrachteten Systeme erlaubt. Durch einen modularen und flexiblen Aufbau soll eine spätere Anpassung an die jeweils neuesten wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse und die Einbeziehung neu entwickelter numerischer Werkzeuge ermöglicht werden. Insbesondere soll die Möglichkeit des Ankoppelns und Einbindens verschiedener existierender spezialisierter (etwa mechanischer oder chemischer) Prozessmodelle geschaffen werden, so dass diese von der Plattform aus bedient werden (Wrapper-Funktion) und ein Datenaustausch zwischen einzelnen Modellen erleichtert wird. Eine nutzerfreundliche Oberfläche und die Möglichkeit der Arbeit in unterschiedlichen Hardwareumgebungen sollen sowohl Forschungsarbeiten als auch die Kompetenzentwicklung durch Lehre und Weiterbildung und die Kommunikation mit der Öffentlichkeit unterstützen. Im Rahmen des Projektes wird aufgrund des begrenzten Zeitraums und der begrenzten Kapazität zunächst nur eine konservative, vereinfachende Modellierung möglich sein.

Im Rahmen des AP erfolgen zunächst die Schaffung eines Anforderungsprofils, eines methodischen Rahmens und Prototyp-Werkzeugs: TUC-IELF (Fachgebiet Röhlig, 1 Wissenschaftler E14 anteilig 50%, 1 Wissenschaftler E13, 1 Wissenschaftler E 13 100% in den Monaten 1-36 und 25 % in den Monaten 37-60).
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Teil des Transversalprojekts „Interdisziplinäre Risikoforschung“.
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Nutzung von Daten aus AP 3.4.4 „Radionuklid-Quellterme für verschiedene Entsorgungsoptionen“ und 3.4.6 „Einfluss der Radionuklidspeziation auf Transferfaktoren“. Einbindung von Werkzeugen zur THMC-Prozessmodellierung mittels des AP 3.5.3 „Numerische Modellierung thermischer, hydraulischer, mechanischer und chemischer Prozesse (THMC-Prozesse) auf der Basis einer Softwareplattform zur Langzeitsicherheitsanalyse“. Input für AP 3.4.2 „Vergleich der radiologischen Gefährdung“ sowie 3.4.3 „Interdisziplinäre Risikoforschung“
Beginn / Laufzeit: Monate 1-60. Bis zum Monat 36 soll das Konzept der Plattform fertiggestellt und ein Prototyp vorgestellt werden. Vom Monat 37 an wird die Plattform entsprechend der Anforderungen aus anderen AP weiterentwickelt.

3.4.2 AP „Vergleich der radiologischen Gefährdung“ (LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz)

Titel / Langfassung:
Vergleich der radiologischen Gefährdung für verschiedene Entsorgungsoptionen

Bearbeiter:
Prof. Dr. C. Walther + N.N.

Kurzbeschreibung:
Entsorgungsoptionen, die eine Rückholung radioaktiver Abfälle einschließen, bedingen eine erneute Handhabung der Abfallgebinde. Dies führt abhängig von Aufwand und den jeweiligen Möglichkeiten der Fernhantierung zu einer Strahlenexposition der beteiligten Mitarbeiter. Dosisverteilungen sowie Kollektivdosen sollen abhängig vom jeweiligen Konzept bestimmt werden.
(a) Die zu erwartende Dosis soll für repräsentative Modellszenarien der jeweiligen Entsorgungsoption abgeschätzt werden. Dies betrifft zum einen die Belastung aufgrund eines Austrags aus einem Endlager nach langen Zeiträumen. Zum anderen soll auch die Belastung des Personals bei ggf. durchzuführenden Rückholmaßnahmen abgeschätzt werden. Sowohl Einzeldosen (Verteilungen) als auch die kollektive Dosis sollen bestimmt werden.
(b) Einfließen soll auch das stark erhöhte Risiko einer Migration von Radionukliden aus einem oberflächennahen Lager, das zwar nur für einen relativ kurzen Zeitraum zum Zwecke der Rückholung konzipiert wurde, in dem diese Option aber nicht wahrgenommen wird.
(c) Ebenfalls evaluiert werden soll das Risiko einer Belastung bei Konditionierungs- / Partitionierungs- oder Transmutationsarbeiten. In allen Fällen ist eine Risikoabschätzung durchzuführen.
Das Projekt ist zweigeteilt. Während die ersten 36 Monate verzahnt und aufbauend auf 3.4.4 gearbeitet wird, sollen in der zweiten Förderperiode (Monat 37-60) Ergebnisse aus den Strahlungsfeldmodellierungen (3.4.5) sowie gegebenenfalls Evaluation zusätzlicher Entsorgungsoptionen, wie zum Beispiel in (c), einfließen.

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:
Teil des Transversalprojekts „Interdisziplinäre Risikoforschung“
Insbesondere die Lagerung mit Option der Rückholung erfordert ein erneutes Handling der Abfälle und bedarf einer Betrachtung hinsichtlich der Minimierung der Strahlenexposition. Teil des Vertikalprojekts „Endlagerung mit Option auf Rückholung“

Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten:
Eng verknüpft werden soll dieses Projekt mit einer Evaluierung der öffentlichen Wahrnehmung dieser Risiken und der daraus folgenden Akzeptanz / Ablehnung der verschiedenen Optionen (3.1.1).
Eine Dosisabschätzung und die Beurteilung von Schutzzielen (3.4.3) ist sinnvoll nur nach vorheriger Modellierung von Quellltermen / Beschreibung im Nahfeld / Beschreibung im Fernfeld möglich (3.4.1 / 3.4.4). Wird einer der zu vergleichenden Entsorgungsoptionen eine Abfallbehandlung / Konditionierung / Recycling vorgeschaltet, oder ist eine Rückholbarkeit vorgesehen (3.6.2, 3.6.3), sind Einzeldosenverteilungen (3.4.5) und kollektive Strahlenbelastung anzupassen.

Beginn Laufzeit:
Monat 1-60

3.4.3 AP „Interdisziplinäre Risikoforschung“ (RISICARE)

Titel / Langfassung:

Risikobetrachtung und -bewertung von Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe

Module:

1. Entsorgungsoptionen und -systeme
2. Umfassende Risikobetrachtung
3. Sicherheitsdiskussion
4. Schutzziele
5. Institutionelle Verankerung / Long-term Stewardship

Bearbeiter:

Dr. Anne Eckhardt + N.N.

Kurzbeschreibung:

Modul 1: Entsorgungsoptionen und -systeme

Modul 1 vermittelt einen Überblick über Entsorgungsoptionen, die heute diskutiert werden und in den vergangenen Jahrzehnten zur Diskussion standen. Dabei wird eine integrale Darstellung der gesamten Entsorgungskette angestrebt, die auch Verfahren wie die thermische Behandlung organikahaltiger Abfälle oder die Transmutation langlebiger Nuklide einschliesst. Die mit der Umsetzung der Entsorgungsoptionen angestrebten Schutzziele und sonstigen Ziele sowie die zentralen Argumente, die für und gegen verschiedene Optionen angeführt werden, werden einander gegenübergestellt. Das Modul *Entsorgungsoptionen und -systeme* basiert auf einer Recherche in der Fachliteratur sowie auf Gesprächen mit Fachinstitutionen und dient als Grundlage für verschiedene weiterführende Arbeiten im Rahmen der Forschungsplattform, z.B. für das im Folgenden beschriebene Modul 2.

Modul 2. Umfassende Risikobetrachtung

Die Risiken, die sich mit der Entsorgung radioaktiver Reststoffe verbinden, sind facettenreich. Risiken, die gegenwärtig oder in naher Zukunft wirksam werden, stehen bspw. solche gegenüber, die Schäden erst in Jahrzehnten bis zu Jahrhunderttausenden erwarten lassen. Risiken, die sich schleichend bemerkbar machen, stehen neben solchen, bei denen Schäden akut auftreten. Risiken, die durch beabsichtigtes menschliches Handeln entstehen, sind ebenso von Belang wie solche, denen kein beabsichtigtes Handeln zugrundeliegt. Neben Risiken, die Leib und Leben von Menschen betreffen, treten auch Risiken für andere Schutzgüter auf. Verschiedene Risiken können auf komplexe Weise miteinander in Beziehung stehen oder sich sogar bedingen. Und nicht zuletzt zeigen sich bei der individuellen und gesellschaftlichen Wahrnehmung verschiedener Risiken, die bei der Entsorgung radioaktiver Reststoffe auftreten, markante Unterschiede. Die Untersuchung *Umfassende Risikobetrachtung* zielt darauf ab, eine Gesamtübersicht der wesentlichen Risiken, die mit verschiedenen Entsorgungsoptionen verbunden sind, und ihrer Wahrnehmung zu erstellen. Dabei wird ein breites Spektrum an Entsorgungsoptionen und -systemen in Betracht gezogen. Zudem wird auch die oft diskutierte Frage der Unsicherheiten bei der Risikoermittlung näher ausgelotet. Auf der Basis der internationalen Fachliteratur und eigener Analysen sollen Ansätze entwickelt werden, um diese Risiken gegeneinander abzuwägen. Das Modul liefert damit Grundlagen, um in einem späteren Schritt verschiedene Entsorgungsoptionen mit Lebenszyklusanalysen untereinander differenziert zu vergleichen.

Modul 3. Sicherheitsdiskussion

In der Diskussion um verschiedene Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe spielt das Thema Sicherheit eine zentrale Rolle. Inhaltlich können sich mit dem Begriff Sicherheit unterschiedliche Erwartungshaltungen verbinden. Dies gilt sowohl für die breite

gesellschaftliche und politische Diskussion als auch für Diskussionen unter Fachleuten, die sich eingehender mit der Entsorgung radioaktiver Reststoffe befassen. Im Rahmen des Moduls *Sicherheitsdiskussion* werden internationale Debatten um Sicherheitsfragen näher analysiert, wobei grundsätzliche Unterschiede im Verständnis von Risiko und Sicherheit und der zwischen ihnen bestehenden Abhängigkeiten sowie der Umgang mit Unsicherheiten im Vordergrund stehen. Unterschiede im Verständnis von Risiko und Sicherheit machen sich vor allem in der Argumentation der Befürworter und Gegner verschiedener Entsorgungsoptionen bemerkbar aber auch bspw. zwischen Experten mit unterschiedlicher politischer Ausrichtung und entsprechend differierenden Werthaltungen. Dabei besteht eine enge Verknüpfung zu Fragen der Risikowahrnehmung, wie sie auch in Modul 2 angesprochen werden. Bei der Analyse wird zwischen verschiedenen Entsorgungsoptionen und Stadien der Realisierung dieser Optionen unterschieden. Das Modul vermittelt eine Übersicht über die zentralen Aspekte der Sicherheitsdiskussion und trägt zu einem besseren Verständnis von Konfliktpunkten bei.

Modul 4. Schutzziele

Mit Schutzzielen wird der Sicherheitszustand festgelegt, der bei der Entsorgung radioaktiver Reststoffe anzustreben ist. Dabei sind verschiedene Schutzgüter zu berücksichtigen. Im Vordergrund stehen heute Leben und Gesundheit von Menschen. Zunehmend werden jedoch auch Ansätze entwickelt, um bspw. nicht-menschliche Arten, ökologische Systeme oder volkswirtschaftliche Interessen zu berücksichtigen. Schutzziele sind als Kriterien geeignet, um verschiedene Entsorgungsoptionen vergleichend zu bewerten. Zudem stellen sie zentrale Vorgaben und Orientierungshilfen bei der Planung und Umsetzung von Entsorgungsoptionen dar. Im Rahmen der Untersuchung *Schutzziele* wird erhoben, welche Schutzziele international sowohl im Bereich der Entsorgung radioaktiver Reststoffe als auch in verwandten Gebieten zur Anwendung kommen und welche Konzepte der Festlegung dieser Schutzziele zugrunde liegen. Verschiedene Ansätze, Schutzziele zu entwickeln, werden einander gegenübergestellt, analysiert und nach transparenten Kriterien bewertet.

Modul 5. Institutionelle Verankerung / Long-term Stewardship

Planung und Umsetzung von Endlagern für radioaktive Abfälle sind in vielen Ländern der Welt im Gang. Eine der zentralen Fragen die dabei ansteht, ist, wie die Gesellschaft mit der beginnenden und sich abzeichnenden Aufgabe umzugehen gedenkt. Die effektive Realisierung eines Tiefenlagers wird mehrere Generationen einbinden. Die Dauer eines solchen Programms ist deshalb von großer gesellschaftlicher Brisanz und kann über dessen Erfolg oder Misserfolg mitentscheiden. Eine der Kernfragen, die sich in diesem Kontext stellt, ist, wie ein solches Programm strukturell abgesichert werden kann und welche institutionellen Rahmenbedingungen dabei in der Zukunft gesetzt und umgesetzt werden müssen. Für diese Aufgabe hat sich u.a. auch der Begriff *Long-term Stewardship* eingebürgert. Die Forschung in diesem Bereich steht erst am Anfang. Es stellt sich also die grundlegende Frage nach der institutionellen Verankerung von Entsorgungsprogrammen und der Möglichkeit, der Tragweite des Problems angemessene und funktionierende Strukturen zu gewährleisten. Es sollen damit die institutionellen Voraussetzungen ausgeleuchtet werden, die erfüllt sein müssen, damit eine geordnete Übergabe des Wissens und die Übernahme der Verantwortlichkeiten in der Zukunft gesichert sind. Eine solche Analyse erfordert auch einen Rückblick in die Vergangenheit, den Aufbau der bisher bestehenden Strukturen sowie die Stärken und Schwächen bisheriger institutioneller Ansätze. Auf dieser Basis können konkrete Anforderungen für die "Long-term Stewardship" entwickelt und entsprechende Strukturen diskutiert und evaluiert werden.

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:

Das Teilprojekt liefert Grundlagen, um verschiedene Entsorgungsoptionen differenziert zu vergleichen und zu bewerten.

Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten:

Modul 1, *Entsorgungsoptionen und -systeme*, ist als Arbeitsgrundlage gedacht, die in der gesamten Forschungsplattform genutzt werden kann und insbesondere auch Modul 2, *Umfassende Risikobetrachtung*, zugute kommt.

Modul 2 weist vor allem Anknüpfungspunkte zu den technisch-naturwissenschaftlich ausgerichteten Teilprojekten auf, in denen verschiedene Entsorgungsoptionen näher untersucht werden. Gemeinsam mit den Modulen 3, *Sicherheitsdiskussion* und 4, *Schutzziele*, besitzt es auch einen Bezug zu den Teilprojekten, die sich aus rechtlicher und ethischer Perspektive mit normativen Aspekten befassen. Bei Modul 3 bestehen zudem ausgeprägte Querverbindungen zum Transversalprojekt Governance.

Modul 5, *Institutionelle Verankerung*, weist in erster Linie Verbindungen zu Transversalprojekt, Technikfolgenabschätzung und Governance, auf.

Beginn / Laufzeit:

Das Arbeitspaket wird zeitgleich mit der Bearbeitung des gesamten Forschungsvorhabens gestartet. Die fünf vorgesehenen Module sollen weitgehend parallel zueinander bearbeitet werden. In den ersten beiden Jahren, d.h. voraussichtlich von Mitte 2012 bis Mitte 2014, werden breit angelegte Recherchen durchgeführt und erste Analysen vorgenommen. In den folgenden drei Jahren werden spezifische Fragestellungen, die eine nähere Abklärung erfordern, vertieft untersucht und eine Synthese vorgenommen.

3.4.4 AP „Radionuklidquellterme für verschiedene Entsorgungsoptionen“ (KIT, Institut für Nukleare Entsorgung)

Titel / Langfassung:
Radionuklidquellterme für verschiedene Entsorgungsoptionen

Bearbeiter:
Prof. Dr. H. Geckeis + N.N

Kurzbeschreibung:
Eine radiologische Belastung von Natur und Mensch als Folge einer Endlagerung oder Langzeitzwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle bedingt die Freisetzung von Radionukliden aus dem entsprechenden Lager. Eine Grundvoraussetzung für die radiologische Bewertung einer Entsorgungsoption sind Radionuklidquellterme unter Annahme eines Wasserzutritts zur Abfallform. Eine mögliche Radionuklidfreisetzung in die Biosphäre hängt von den Korrosionsraten der jeweiligen Behälter, der Barrieren und der Abfallformen unter den entsprechenden chemischen Randbedingungen sowie dem angenommenen Transport durch die Geosphäre ab. Im Rahmen des Vorhabens werden Quellterme für stilisierte Entwicklungen geologischer Endlager in Steinsalz und Tonstein mit denen möglicher oberflächennaher bzw. auf der Erdoberfläche gelegener Langzeitzwischenlager verglichen.

Arbeitsschritte:
Um die von einem Endlager für radioaktive Abfälle ausgehenden Risiken für eine radiologische Belastung von Natur und Mensch beurteilen zu können (Bezug zu AP 3.4.3), ist die Quantifizierung einer möglichen Freisetzung von radioaktiven Abfallbestandteilen in die Biosphäre erforderlich. Dazu sind Radionuklidquellterme und Modelle für die Radionuklidausbreitung für die jeweiligen Endlagersysteme zu entwickeln. Das Ausmaß und die Wahrscheinlichkeit einer Radionuklidfreisetzung in die Biosphäre hängt vom Lagerkonzept, vom Behältertyp, von der Art des Abfalls, den Endlagerbarrieren und den entsprechenden chemischen/geochemischen Randbedingungen ab. So ist die Wahrscheinlichkeit für den Zutritt von Grundwasser zur Abfallform bei einem Endlager in Steinsalz deutlich geringer als dies für ein Lager in Tongestein der Fall ist. Neben dem Wasservolumen, das im ungünstigen Fall in Lagerkammern eindringen kann, bestimmen pH, Redoxbedingungen, Salinität und komplexierende Grundwasserinhaltsstoffe die durch Löslichkeit freisetzbaren Radionuklidmengen. Tiefengeologische Endlager sind

i.allg. durch reduzierende Bedingungen gekennzeichnet, die die Löslichkeit vieler Transuranelemente und einiger Spaltprodukte deutlich verringern. Für Endlagerkonzepte in ungesättigten oder in oberflächennahen Bereichen muss dagegen auch die Anwesenheit von Luftsauerstoff, d.h. oxidierender Bedingungen, berücksichtigt werden. Radionuklidquellterme können anhand thermodynamischer Daten abgeschätzt werden.
Die Radionuklidausbreitung bis zur Biosphäre wird durch unterschiedliche langsame Schadstofftransportprozesse wie Diffusion und Advektion, Verdünnung sowie Rückhaltevorgänge an Gesteinsoberflächen bestimmt. Ganz anders sieht dies für Langzeitzwischenlager oder Lager in der Nähe der Oberfläche aus. Über die Zeiträume, für die solche Lager ausgelegt werden, schließen Lagerbehälter und Verschlusssysteme eine Freisetzung von Radionukliden mit hoher Wahrscheinlichkeit aus. Doch sind auch die Auswirkungen solcher Szenarien zu betrachten, in denen angenommen wird, dass über einen Zeitraum von einigen hundert Jahren politische bzw. gesellschaftliche Veränderungen eintreten, die ein ordnungsgemäßes Betreiben eines Zwischenlagers oder die Überführung des Abfalls in ein passiv sicheres geologisches Endlager verhindern. Auch für solche Szenarien werden mögliche Radionuklidfreisetzungen zu betrachten sein.
Generell hängt die Zuverlässigkeit und Genauigkeit geochemischer Rechnungen entscheidend von der die Qualität der verfügbaren Daten ab und strenge Qualitätssicherungsmaßnahmen werden gefordert. Die Verwendung nachweislich qualitätsgesicherter und konsistenter Daten ist daher unabdingbar. Die möglichen Auswirkungen von Datenunsicherheiten sind zu diskutieren. Gegebenenfalls sind Resultate geochemischer Rechnungen durch gezielte Experimente zu überprüfen und zu validieren.
Im beantragten Vorhaben werden typische Radionuklidquellterme für Endlager für hochradioaktive Abfälle in Steinsalz und Tongestein zusammengestellt und miteinander verglichen. Es werden stilisierte Szenarien betrachtet, in denen der Einfluss der wesentlichen typischen geochemischen Parameter, die für die unterschiedlichen Wirtsgesteine charakteristisch sind (Salinität, pH-Bereiche, Anwesenheit von Carbonat, Anwesenheit sorbierender Mineralphasen etc.) beleuchtet werden. Quellterme sind die Grundlage für die Abschätzung einer Schadstoffausbreitung aus dem Endlagernahfeld. Unter Verwendung geochemischer Programmcodes (PHREEQC, Geochemist's Workbench etc.) werden Modelle entwickelt, die eine Radionuklidmigration in unterschiedlichen Endlagerkonzepten (Ton, Salz) durch Diffusion und Advektion unter Berücksichtigung von Sorptionsvorgängen an Behälterkorrosionsprodukten und Verfüllmaterial beschreiben können. Das gleiche gilt für die Abschätzung des Radionuklidtransports durch Wirtsgestein und Deckgebirge im Rahmen von Modellstudien. Diese Arbeiten werden eng vernetzt mit Arbeitspaketen 3.4.1, 3.5.1 und 3.5.2 durchgeführt.
Für Endlagerkonzepte, die eine Rückholbarkeit der Abfälle vorsehen, und für das Konzept der Langzeitzwischenlagerung werden Konsequenzen für das Radionuklidverhalten, -freisetzung und -ausbreitung diskutiert. Dies gilt insbesondere für solche Fälle, in denen aus heute nicht vorhersehbaren Entwicklungen der menschlichen Gesellschaft, Endlager mit Rückholbarkeitsoption und Langzeitzwischenlager nicht planungsgemäß in langzeitsichere Zustände überführt werden. Die den jeweiligen Konzepten zugrunde liegenden Randbedingungen werden mit den Arbeitsgruppen der Arbeitspakete 3.6.1, 3.7.1, 3.7.2 und 3.7.3 abgestimmt.
Geochemische Informationen zu Konzentration und chemischer Form (Speziation) relevanter Radionuklide an der Grenzfläche Geosphäre/Biosphäre werden genutzt, um in AP 3.4.2, 3.4.6 Biosphärenmodelle anzupassen und gegebenenfalls zu verbessern.

Vorläufiger Zeitplan:

1. Jahr: Abstimmung von Szenarien und Randbedingungen mit AP 3.4.1, 3.5.1 und 3.5.2; Zusammenstellung von Radionuklidquellltermen für generische tiefengeologische Endlager im Steinsalz und Tongestein.
2. Jahr: Beginn der Modellentwicklung zur Beschreibung der Radionuklidausbreitung in der Geosphäre (Vernetzung mit AP 3.4.1); Erstellung der Randbedingungen für die Radionuklidfreisetzung aus einem oberflächennahen Langzeitzwischenlager bzw. Endlagern mit Rückholbarkeitsoptionen (Abstimmung mit AP 3.6.1, 3.7.1, 3.7.2 und 3.7.3).
3. Jahr: **Vergleich der Radionuklidquellterme aus den verschiedenen Lagerkonzepten**;
   Weiterführung der Modellentwicklung zur Beschreibung der Radionuklidausbreitung in der Geosphäre;
4. Jahr: Vergleich und Diskussion der Radionuklidausbreitung für generische Endlager in Tonstein und Steinsalz;
5. Jahr: Zusammenführung der Informationen aus Radionuklidquellltermen und geochemischer Ausbreitungsmodellierung mit Biosphärenmodellen (Vernetzung mit AP 3.4.2, 3.4.6).

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:

Eine Bewertung aller diskutierten Entsorgungsoptionen erfordert die Quantifizierung des Radionuklidaustrags aus einem Lager. Dafür sind Quellterm und Radionuklidtransport in der Geosphäre unabdingbare Basisgrößen.

Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten:

Querverbindungen gibt es innerhalb des TP 3.4 „Interdisziplinäre Risikoforschung“ zu den AP 3.4.1 „Expertise und Instrumentarien zur Beurteilung der Langzeitsicherheit von Tiefenlagern“; Ergebnisse fließen ein in AP 3.4.2 „Vergleich der radiologischen Gefährdung“ und AP 3.4.6 „Einfluss der Radionuklidspeziation auf Transferfaktoren“ und tragen insgesamt zu AP 3.4.3 „Interdisziplinäre Risikoforschung“ bei. Enge Abstimmung bzgl. Randbedingungen und Szenarien erfolgt mit den Vertikalprojekten AP 3.5.1 und 3.5.2 „Weiterentwicklungen des Instrumentariums zur THM-gekoppelten Nahfeld-Prozesssimulation …“ sowie AP 3.6.1 „Konzeptionelle Untersuchungen zu Deponien mit Vorkehrungen zur Rückholbarkeit der Reststoffe 1“ und AP 3.7.1 „Bautechnische Konzepte zur obertägigen Lagerung radioaktiven Abfalls“.

Beginn / Laufzeit:

Monat 1-60

Meilenstein nach 36 Monaten: Vergleich der Radionuklidquellterme aus den verschiedenen Lagerkonzepten

3.4.5 AP „Individuelle Dosimetrie für Beschäftigte in Entsorgungsanlagen“ (KIT, Institut für Nukleare Entsorgung)

Titel / Langfassung:
Entwicklung von Verfahren für die individuelle Dosimetrie für Beschäftigte in Entsorgungsanlagen

Bearbeiter:
Prof. Dr. H. Geckeis + N.N.

Kurzbeschreibung:
Die Langzeitzwischenlagerung sowie die Rückholung aus einem geologischen Endlager können zu einer erhöhten Dosisbelastung der Beschäftigten beitragen. Die derzeit übliche Abschätzung der Dosisbelastungen beruflich strahlenexponierter Personen beruht auf der Anwendung herkömmlicher Dosimetriemethoden und gemittelten Messdaten. Die Modellierung von Strahlenfeldern in Lagern für hochradioaktive Abfälle, die Entwicklung angepasster Dosimetriestrategien, die Beschreibung von Beschäftigungsabläufen mit Hilfe von Ablaufsimulationen und MCNP Modellierungen erlauben die Abschätzung Strahlenexpositionen für bestimmte Tätigkeitsabläufe und damit der individuellen Dosisbelastung.

Arbeitsschritte:
Die Bewertung einer möglichen radiologischen Belastung von Personen durch den Betrieb einer Einrichtung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle erfolgt durch die Bestimmung der physikalischen Eigenschaften verschiedenster (inhomogener) Strahlenfelder (Elektronen, Photonen und Neutronen) und die Ermittlung von Personendosiswerten (Bezug zu AP 3.4.2). Bei einer Langzeitzwischenlagerung über Zeiträume, die einige Jahrhunderte betragen können, oder bedingt durch Maßnahmen, die eine Rückholung hochradioaktiver Abfälle aus einem geologischen Endlager vorsehen, können erhöhte Dosisbelastungen von Beschäftigten auftreten. Die derzeit übliche Abschätzung der Dosisbelastungen beruflich strahlenexponierter Personen beruht auf der Anwendung herkömmlicher Dosimetriemethoden und gemittelten Messdaten.
Ziel der hier vorgeschlagenen Arbeiten ist es, aktuelle Problemstellungen im Strahlenschutz mittels Simulationen und Messungen zu untersuchen, die zuvor nicht oder nur schwer zu realisieren waren. Dies trägt zur realistischeren Bewertung von Strahlenfeldern und ermöglicht damit die Optimierung von Strahlenschutzmaßnahmen. Dies geschieht durch Berücksichtigung individueller Bewegungsabläufe und ortsspezifischer Einflüsse. Hierzu können gezielte Dosismessungen mit Modellierungen und Simulationen von Szenarien mit verschiedenen (Monte-Carlo) Programmen eingesetzt werden. Die im Rahmen des Projekts geplante Modellierung von Strahlenfeldern in Lagern für hochradioaktive Abfälle, die Entwicklung angepasster Dosimetriestrategien, die Beschreibung von Beschäftigungsabläufen mit Hilfe von Ablaufsimulationen und Modellierungen, z.B. auf Voxel-Basis und mit Hilfe der Monte-Carlo-Codes MCNP und Geant4, erlauben die Abschätzung individueller Strahlenexpositionen für bestimmte Tätigkeiten. Randbedingungen, die sich aus den entsprechenden Lagerkonzepten ergeben, werden mit AP 3.6.1, 3.7.1, 3.7.2 und 3.7.3 abgestimmt.
Für alle Entsorgungsoptionen werden Beschäftigte einer Strahlenexposition ausgesetzt, die sich aus den jeweils erforderlichen Tätigkeitsabläufen und ihrer Dauer richtet. Eine detailliert individuelle Dosisabschätzung kann zur Optimierung von Verfahrensabläufen z.B. bei Umlagerung und Rückholung herangezogen werden. Das Arbeitspaket wird in enger Abstimmung mit AP 3.4.2 bearbeitet.

Zur Durchführung von Simulationen wird primär der Monte-Carlo Code MCNP verwendet. Die existierende MCNP Kompetenz basiert auf Simulationen mit Photonen, Neutronen und Elektronen unter Nutzung von Windows und Linux Computer (Cluster) Systemen. Mit diesen Werkszeugen wurden bereits erste Simulationen von Strahlenfeldern und die Modellierung von Dosimetern in Neutronen-Photonen Strahlenfeldern, wie sie in Zwischenlagern gefüllt mit CASTOR-Behältern beladen mit abgebranntem Kernbrennstoff auftreten, durchgeführt. Der Einfluss inhomogener Strahlenfelder für die Dosimetrie unter Berücksichtigung individueller Bewegungsabläufe und ortsspezifischer Einflüsse lässt sich durch Modellierungen und Simulationen von Szenarien bestimmen.

Vorläufiger Zeitplan:

1. Jahr: Erstellung generischer Endlager- und Langzeitzwischenlagermodellen (Abstimmung mit AP 3.4.2, 3.6.1, 3.7.1, 3.7.2 und 3.7.3); Sammlung von Informationen zu Lagerbehältern und deren Inhalt (abgebrannter Kernbrennstoff; Glaskokillen);

2. Jahr: Erstellung von Simulationen repräsentativer Strahlenfelder in Lagern für hochradioaktive Abfälle.

3. Jahr: **Es werden Studien zur individuellen Dosimetrie für Beschäftigte für verschiedene Entsorgungsanlagen miteinander verglichen.**
Erstellung von Dosimetriemodellen für bestimmte Arbeitsabläufe (Rückholung, Umlagerung);

4. + 5. Jahr: Modellierung individueller Dosisbeiträge bedingt durch Arbeitsabläufe sowie Vorschläge zur Optimierung des Strahlenschutzes in Lagern für hochradioaktive Abfälle.

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:
Für alle Entsorgungsoptionen werden Beschäftigte einer Strahlenexposition ausgesetzt, die sich aus den jeweils erforderlichen Tätigkeitsabläufen richtet. Eine detailliert individuelle Dosisabschätzung in Abhängigkeit vom jeweils vorliegenden Strahlenfeld kann zur Optimierung von Verfahrensabläufen z.B. bei Umlagerung und Rückholung herangezogen werden.

Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten:
Querverbindungen gibt es innerhalb des TP 3.4 „Interdisziplinäre Risikoforschung“ zu den AP 3.4.2 „Vergleich der radiologischen Gefährdung“ und AP 3.4.3 „Interdisziplinäre Risikoforschung“. Enge Abstimmung bzgl. Randbedingungen und Szenarien erfolgt mit den Vertikalprojekten AP 3.6.1 „Konzeptionelle Untersuchungen zu Deponien mit Vorkehrungen zur Rückholbarkeit der Reststoffe 1“ und AP 3.7.1 „Bautechnische Konzepte zur obertägigen Lagerung radioaktiven Abfalls“.

Beginn / Laufzeit:
Monat 1-60
Meilenstein nach 36 Monaten: Es werden Studien zur individuellen Dosimetrie für Beschäftigte für verschiedene Entsorgungsanlagen miteinander verglichen.

3.4.6 AP „Einfluss der Radionuklidspeziation auf Transferfaktoren“ (LUH, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz)

Titel / Langfassung: Einfluss der Radionuklidspeziation auf Transferfaktoren
Bearbeiter: Prof. Dr. C. Walther + N.N.
Kurzbeschreibung: Zur Bestimmung der radiologischen Gefährdung des Menschen durch Radionuklidmigration aus einem Endlager muss der Eintrag der Radionuklide auch in die Nahrungskette berücksichtigt werden. Hierfür müssen Transferfaktoren bekannt sein. Diese sind keine universellen Konstanten, sondern hängen von diversen Faktoren ab, wie zum Beispiel Beschaffenheit des Bodens, Mineralstoffgehalt, Düngung uvm. Eine bisher oft vernachlässigte Komponente ist der Einfluss der Speziation der Radionuklide selbst, insbesondere Oxidationszustand, chemische Verbindung usw. Diese sollen im Rahmen des Projekts für repräsentative Nutzpflanzen untersucht werden.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Für alle Entsorgungsoptionen muss der Radionuklidaustrag in die Biosphäre und weiter bis in die Nahrungskette des Menschen bestimmt werden. Daher sind die zu ermittelnden Größen für Modellierungen aller Vertikalprojekte notwendig, insbesondere jedoch für geologische Endlagerung. Teil des Transversalprojekts „Interdisziplinäre Risikoforschung“
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Diese Transferfaktoren können zur Dosisabschätzung dienen, aufbauend auf Austragsraten, wie sie von KIT-INE und TUC geliefert werden.
Beginn / Laufzeit: Monat 6-42

3.5 Vertikalprojekt „Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit (wartungsfreie Tiefenlagerung“)

Die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ist diejenige Entsorgungsoption, für die in Deutschland wie auch in anderen Ländern umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsprogramme durchgeführt wurden und werden und entsprechende Ergebnisse vorliegen. In Deutschland wurde vorrangig die Einlagerung in Steinsalzformationen ohne besondere Vorkehrungen zur Rückholbarkeit betrachtet. Im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit insbesondere in Untertagelabors im Ausland sowie in einigen generischen Studien wurden jedoch auch andere Wirtsgesteine betrachtet. Insbesondere in Zusammenhang mit den Sicherheitsanforderungen des BMU und den dort formulierten Anforderungen hinsichtlich einer Rückholbarkeit und Bergbarkeit (vgl. Kapitel 2) erfolgt in jüngerer Zeit – insbesondere in der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG, http://www.grs.de/vorlaeufige-sicherheitsanalyse-gorleben-vsg) - eine Befassung mit Rückholbarkeitsaspekten.

In einer Reihe anderer Länder existieren zum Teil sehr weit fortgeschrittene Forschungs- und Entwicklungsprogramme zur Tiefenlagerung in den dort jeweils zur Verfügung stehenden bzw. favorisierten Wirtsgesteinen und – entsprechend der jeweiligen nationalen Anforderungen – mit unterschiedlichen Ansätzen zur Rückholbarkeit. Das Vertikalprojekt umfasst daher

- Forschungsarbeiten zu Einzelaspekten der Entsorgungsoption „wartungsfreie Tiefenlagerung“ sowie
- die Schaffung von Bewertungsgrundlagen für die Transversalprojekte mittels einer Literaturstudie und –synthese (Unterauftrag*, organisatorisch im AP 3.5.3 angesiedelt).

* erteilt an Öko-Institut e.V., Rheinstraße 95, D-64295 Darmstadt

3.5.1 AP „THM-gekoppelte Nahfeld-Prozesssimulation im Salinargebirge“ (TUC, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik)

Teilprojekt 1a
TUC-IFAD

Titel / Langfassung:
Weiterentwicklung des vorhandenen Instrumentariums zur THM-gekoppelten Nahfeld-Prozesssimulation im Salinargebirge unter besonderer Berücksichtigung der Ausbildung von technogen induzierten sekundären Wegsamkeiten
- Grundlegende Arbeiten und Verifikation

Bearbeiter:
1 Wissenschaftlicher Mitarbeiter; 1 Techniker (18 Monate)

Kurzbeschreibung:
Die Richtlinien des BMU zur Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle im tiefen geologischen Untergrund sehen vor, die Abfälle in einem standortspezifisch festzulegenden, einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) gegenüber der Biosphäre langfristig zu isolieren und am Rand dieses ewG die entsprechenden Sicherheitsnachweise zu führen. Für den Fall der Gasentwicklung im verschlossenen und weitgehend versetzen Endlager ist aufzuzeigen, welche Konsequenzen für die Barrierenintegrität (geologische Barriere, geotechnische Barriere, Salzgrusversatz) aus der Gasentwicklung und dem in Verbindung mit Gasbildung und Gebirgskonvergenz induzierten Gasdruckaufbau resultieren. Zur Verbesserung des Prozessverständnisses im Hinblick auf die physikalische Modellierung sowie des verfügbaren Instrumentariums zur Prozesssimulation und Langzeitprognose sind laborative Untersuchungen und simulationstechnische Weiterentwicklungen vorgesehen:

(1) Laborative Untersuchungen zum Infiltrationsverhalten von Gas im Salzgestein (Messung des Volumenstromes sowohl an Gasaustritts- wie auch an Gaseintrittsseite, Anlegung von möglichst realitätsnahen Druckgradienten, trockenes bzw. feuchtes Salz).

(2) Laborative Untersuchung der Gasdruckentwicklung im Porenraum von trockenem / feuchtem Versatzmaterial im Hinblick auf die fluidmechanischen Wirkungen (axial gelochter Prüfkörper mit Versatzmaterial in der Bohrung unter mechanischer Belastung (→ Konvergenz) und Gasbildung (→ Verstärkung des Gasdruckaufbaus).

(3) Modifikation des bisherigen Infiltrationsmodells im Hinblick auf eine verbesserte physikalische Modellierung des Infiltrationsprozesses (Poro-Perm-Modell mit Strömung in der Infiltrationszone).

(4) Rechnerische Analysen zum Infiltrationsprozess von Gas in das Barrierengebirge und in den Streckenversatz im Hinblick auf räumliche Ausbreitung, Zeitverlauf und Gasaufnahme in sekundären Wegsamkeiten (Wechselwirkung Gasdruck, Gebirgsdruck, Konvergenz)

Durch das Vorhaben wird das vorhandene Modellierungs- und Simulationsinstrumentarium weiterentwickelt mit dem Ziel, die noch bestehenden und zwischenzeitlich identifizierten Defizite abzubauen und die Prognosezuverlässigkeit zu verbessern..

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:
Für die als Vertikalprojekte definierten Entsorgungsoptionen eines geologischen Endlagers muss die langfristige Wirksamkeit der geologischen Barriere Salinargebirge und der geotechnischen Barriere Salzgrusversatz für relevante Einwirkungen belegt werden. Dieses Postulat gilt für die Optionen ohne oder mit Rückholung gleichermaßen. Der Beleg des vollständigen Einschlusses der Abfälle im EWG in der wahrscheinlichen

Endlagerentwicklung ist zentraler Aspekt der Langzeitsicherheitsanalyse und wird damit auch Teil des Transversalprojektes „Interdisziplinäre Risikoforschung“
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Die Analyse möglicher Radionuklidfreisetzungen bzw. der Beleg der Isolation der Radionuklide im einschlusswirksamen Gebirgsbereich und damit innerhalb der geologischen Barriere ist grundlegender Baustein der Sicherheitsdokumentation / Langzeitsicherheitsanalyse.
Beginn / Laufzeit: Monat 1-36

Teilprojekt 1b
TUC-IFAD

Titel / Langfassung:
Weiterentwicklung des Instrumentariums zur THM-gekoppelten Nahfeld-Prozesssimulation im Salinargebirge unter besonderer Berücksichtigung der Ausbildung von technogen induzierten sekundären Wegsamkeiten -
Validierung der erweiterten Nahfeldprozesssimulation für das Salinargebirge und Erarbeitung von Schnittstellen zum Instrumentarium für die Sicherheits- bzw. Risikoanalyse

Bearbeiter:
1 Wissenschaftlicher Mitarbeiter (24 Monate):

Kurzbeschreibung:
Das im Teilprojekt 1a für das Salinargebirge erweiterte THM-Nahfeldsimulationsinstrumentarium soll in Teilprojekt 1b zunächst validiert werden. Die Erfahrung zeigt, dass sich die Ergebnisse einer rechnerischen Simulation THM-gekoppelter Prozesse aufgrund der komplexen Wechselwirkungen einer einfachen Überprüfung entziehen. Insbesondere dann, wenn die Berechnungsdaten im Rahmen von Sicherheitsanalysen weiterverwendet werden, muss die Zuverlässigkeit quantitativer Ergebnisse gefordert werden.
Daher besteht die zentrale Aufgabe, vor einer Anwendung auf Standorte zunächst generisch die geotechnische Plausibilität und die quantitative Zuverlässigkeit der Ergebnisse der rechnerischen Simulationen möglichst weitgehend zu belegen.
Die Validation ist Teil einer mehrstufigen Qualitätssicherung und soll nach der Teilstufe der Verifikation, die bereits in Teilprojekt 1a erfolgt ist, und mit der eine fehlerfreie mathematisch-thermomechanisch/hydraulische Implementierung und eine stabile numerische Iteration dokumentiert werden, zeigen, dass mit der entwickelten Software im Kontext mit Materialdaten zum Salinargebirge auch physikalisch, in diesem Fall geomechanisch/geohydraulisch plausible Prozesssimulationen durchgeführt werden können. Zur Validation sollen Versuche im Labor, die unter definierten Randbedingungen durchgeführt worden sind, und Beispiele aus der internationalen Literatur herangezogen werden, wie frühere Benchmarktests oder gut dokumentierte Feldversuche.
Weiterhin sollen in diesem Teilprojekt die Schnittstellen identifiziert und quantifiziert werden, die die Verbindung herstellen von der THM-geprägten Simulation der Nahfeldprozesse zu den Sicherheits- bzw. Risikoanalysen, in deren Rahmen die potentiellen Schadstofffreisetzungen mit ihren Konsequenzen behandelt werden. Dabei werden bei Entsorgungsanlagen im Salinargebirge der Nachweis des Erhalts der geologischen Barrierenintegrität und der Nachweis der Funktionstüchtigkeit geotechnischer Barrieren mit der Zielsetzung des Nachweises eines vollständigen Einschlusses der Abfälle im Salinargebirge faktisch bereits im Rahmen der THM-Prozessanalyse geführt, während für die Anlagenentwicklungen mit verletzter Barrierenintegrität weiterführend Freisetzungs- und Konsequenzanalysen vorzunehmen sind, die nunmehr auch faktisch dem Bereich der Sicherheits- bzw. Risikoanalysen zugeordnet werden, da lokale Emissionsprozesse von Schadstoffen, großräumige Transportprozesse und schutzzielorientierte Immissionsprozesse zu analysieren sind. Hier liefern die THM-Prozesssimulationen Informationen zum Verlauf der Strömungsprozesse vom Nahfeld über das Fernfeld bis in die Biosphäre.
Vor diesem Hintergrund sind als Schnittstellen von der THM-Prozesssimulation zur Sicherheits- bzw. Risikoanalyse zum Beispiel zu nennen: Die Konvergenz von versetzten Ablagerungshohlräumen, die hydraulische Leitfähigkeit geotechnischer Barrieren als Funktion der Zeit, die Identifizierung technogen induzierter sekundärer Wegsamkeiten zwischen Nahfeld und Biosphäre sowie die hydraulische Leitfähigkeit schon vorgezeichneter oder erst sekundär entstandener geologischer Schwachstellen bei verletzter Integrität infolge Dilatanz und / oder Infiltration.

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:
Für die als Vertikalprojekte definierten Entsorgungsoptionen eines geologischen Endlagers muss die langfristige Wirksamkeit der geologischen Barriere und der geotechnischen Barrieren für relevante Einwirkungen belegt werden. Dieses Postulat gilt für die Optionen ohne oder mit Rückholung gleichermaßen. Der Beleg des vollständigen Einschlusses der Abfälle im einschlusswirksamen Gebirgsbereich in der wahrscheinlichen Endlagerentwicklung und die Analyse potentieller großräumiger

Fluidströme in wenig wahrscheinlichen Endlagerentwicklungen sind zentraler Aspekt der Langzeitsicherheitsanalyse und werden mit den zugeordneten Fluidströmen damit auch zentraler Teil des Transversalprojektes „Interdisziplinäre Risikoforschung“.
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Die Analyse möglicher Radionuklidfreisetzungen bzw. der Beleg ihrer Isolation in der geologischen Barriere ist grundlegender Baustein der Sicherheitsdokumentation / Langzeitsicherheitsanalyse.
Beginn / Laufzeit: Monat 37-60

3.5.2 AP „THM-gekoppelte Nahfeld-Prozesssimulation im Tonsteingebirge“ (TUC, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik)

Teilprojekt 2a TUC-IFAD
Titel / Langfassung: Weiterentwicklung des Instrumentariums zur THM-gekoppelten Nahfeld-Prozesssimulation im Tonsteingebirge unter besonderer Berücksichtigung des THM-Zweiphasenflusses ***- Grundlegende Arbeiten und Verifikation***
Bearbeiter: 1 Wissenschaftlicher Mitarbeiter (36 Monate); 1 Techniker (18 Monate):
Kurzbeschreibung: Im Rahmen der Suche nach einem geeigneten Wirtsgestein für die Endlagerung radioaktiver Abfälle wird in Deutschland seit nunmehr etwa einem Jahrzehnt parallel zur Erforschung von Salinargestein auch die Erforschung von Tongestein zu einer Eignung als Wirts- und Barrierengestein /- gebirge verstärkt vorangetrieben. Dabei liegt ein Fokus auf der Erarbeitung eines grundlegenden Verständnisses, der zahlenmäßigen Charakterisierung und der physikalischen Modellierung der im Tongestein ablaufenden thermischen, hydraulischen und mechanischen (THM-)Prozesse. Grundlagen sind laborative Untersuchungen zum Materialverhalten unter Endlagerbedingungen. Darauf aufbauend erfolgen zunächst die Formulierung und dann die Implementierung THM-gekoppelter physikalischer Modelle in geeignete Simulations-Software. Die gleichzeitig auftretenden THM-Prozesse können sowohl die mechanischen Eigenschaften (Festigkeit, Verformbarkeit, Schädigung / Entfestigung und Self-Sealing, Saugspannung ...) wie auch die hydraulischen Eigenschaften (Ausbildung von flüssigen und gasförmigen Phasen in veränderlichen Anteilen, Porenwasserdruck bzw. Porengasdruck und Strömungskräfte, relative Permeabilität, *Biot*-Koeffizient, Porosität...) sowie die thermischen Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Wärmeausdehnungskoeffizient ...) gegenüber der nicht gekoppelten Betrachtung sehr stark verändern. Daher muss im Hinblick auf eine das Langzeitverhalten eines Endlagers im Tongestein durchzuführende Sicherheitsanalyse das gekoppelte thermisch-hydraulisch-mechanische Verhalten des Tongesteins charakterisiert sowie physikalisch modelliert und rechnerisch simuliert werden. Im Gegensatz zum Salzgebirge liegt im Tonsteingebirge bereits im unverritzten Zustand ein vernetzter Porenraum vor, der primär als flüssigkeitsgesättigt anzusehen ist. Bei der Errichtung eines Endlagers für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle wird in der Folge durch die Auffahrung von Hohlräumen in der Auflockerungszone zunächst ein Entsättigungsprozess induziert, danach folgen dann aufgrund der Bewetterung (natürlich, künstlich) Auf- und Entsättigungsprozesse im Wechsel. Zusammen mit der abschließenden Verfüllung der Resthohlräume durch poröses Verfüllmaterial, wie zum Beispiel Bentonitpellets, und gegebenenfalls einer künstlichen Aufsättigung dieses Materials sowie der korrosionsbedingten Gasbildung werden flüssige und gasförmige Phasen in den Porenräumen des Verfüllmaterials und des Gesteinsmaterials ausgebildet, welche höchst sensibel auf die von den eingelagerten wärmeentwickelnden Abfällen ausgehenden thermischen Prozesse reagieren können (zu hohe Temperaturen mit Verdampfung von Porenwasser oder / und Gasbildung → deutlicher Anstieg des Porengasdrucks → mechanische Entfestigungsprozesse → Verlust der hydraulischen Integrität → Ausbildung sekundärer Wegsamkeiten → Infiltration). Das Hauptziel dieses Vorhabens besteht darin, ein vorhandenes noch eher rudimentäres numerisches Analysewerkzeug zur Simulation THM-gekoppelter Nahfeldprozesse im Tonsteingebirge unter Endlagereinwirkungen verstärkt weiter zu entwickeln, mit welchem auf der mechanischen Seite der Ent- und Verfestigungsprozess im konturnahem Gebirge und auf der hydraulischen Seite insbesondere eine Modellierung und Simulation von Zweiphasenflüssen ermöglicht werden soll. Grundlagen für die hier geplanten vertieften Untersuchungen zur zusätzlichen Berücksichtigung auch thermischer Prozesse ist die Kopplung der kommerziellen EDV-Programme FLAC3D und TOUGH2, an der derzeit im Rahmen des BMWi-geförderten Forschungsvorhabens O2E11041 gearbeitet wird.

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:
Für die als Vertikalprojekte definierten Entsorgungsoptionen eines geologischen Endlagers muss die langfristige Wirksamkeit der geologischen Barriere Tonsteingebirge und entsprechender geotechnischer Barrieren für relevante Einwirkungen belegt werden. Dieses Postulat gilt für die Optionen ohne oder mit Rückholung gleichermaßen. Der Beleg des vollständigen Einschlusses der Abfälle im ewG in der wahrscheinlichen Endlagerentwicklung ist zentraler Aspekt der Langzeitsicherheitsanalyse und wird damit auch Teil des Transversalprojektes „Interdisziplinäre Risikoforschung“

Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten:
Die Analyse möglicher Radionuklidfreisetzungen bzw. der Beleg der Isolation der Radionuklide in der geologischen Barriere bzw. im einschlusswirksamen Gebirgsbereich ist grundlegender Baustein der Sicherheitsdokumentation / Langzeitsicherheitsanalyse.

Beginn / Laufzeit:
Monat 1-36

Teilprojekt 2b
TUC-IFAD

Titel / Langfassung:
Weiterentwicklung des vorhandenen Instrumentariums zur THM-gekoppelten Nahfeld-Prozesssimulation im Tonsteingebirge unter besonderer Berücksichtigung des THM-Zweiphasenflusses -
Validierung der erweiterten Nahfeldprozesssimulation für das Tonsteingebirge und Erarbeitung von Schnittstellen zum Instrumentarium für die Sicherheits- bzw. Risikoanalyse

Bearbeiter:
1 Wissenschaftlicher Mitarbeiter (24 Monate):

Kurzbeschreibung:
Das im Teilprojekt 2a für das Tonsteingebirge erweiterte THM-Nahfeldsimulationsinstrumentarium soll in Teilprojekt 2b zunächst validiert werden. Die Erfahrung zeigt, dass sich die Ergebnisse einer rechnerischen Simulation THM-gekoppelter Prozesse aufgrund der komplexen Wechselwirkungen einer einfachen Überprüfung entziehen. Insbesondere dann, wenn die Berechnungsdaten im Rahmen von Sicherheitsanalysen weiterverwendet werden, muss die Zuverlässigkeit quantitativer Ergebnisse gefordert werden. Daher besteht die zentrale Aufgabe, vor einer Anwendung auf Standorte zunächst generell die geotechnische Plausibilität und die quantitative Zuverlässigkeit der Ergebnisse der rechnerischen Simulationen zu belegen.
Die Validation ist Teil einer mehrstufigen Qualitätssicherung und soll nach der Teilstufe der Verifikation, mit der eine fehlerfreie mathematisch-thermomechanisch/hydraulische Implementierung und eine stabile numerische Iteration dokumentiert werden, zeigen, dass mit der entwickelten Software im Kontext mit Materialdaten zum Tonsteingebirge auch physikalisch, in diesem Fall geomechanisch/geohydraulisch plausible Prozesssimulationen durchgeführt werden können, zum Beispiel Ein- und Zweiphasenflüsse bei gesättigtem oder teilgesättigtem Porenraum. Zur vertieften Validation sollen Versuche im Labor, die unter definierten Randbedingungen durchgeführt worden sind, und Beispiele aus der internationalen Literatur herangezogen werden, zum Beispiel frühere Benchmarktests oder gut dokumentierte Feldversuche. Es ist angesichts der ausgesprochen komplexen Prozesse zu erwarten, dass sich aus der weiteren Validation noch Defizite bisheriger Modellierungsansätze ergeben, die dann im Simulationsinstrumentarium zu beheben sind.
Weiterhin sollen in diesem Teilprojekt die Schnittstellen identifiziert und quantifiziert werden, die die Verbindung herstellen von der THM-geprägten Simulation der Nahfeldprozesse zu den weiterführenden Sicherheits- bzw. Risikoanalysen, in deren Rahmen die potentiellen Schadstofffreisetzungen mit ihren Konsequenzen behandelt werden und zwar sowohl für Anlagenentwicklungen mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit (intakte Barrierenintegrität) wie auch für Anlagenentwicklungen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit (verletzte Barrierenintegrität). Anzumerken ist, dass bei Entsorgungsanlagen im Tonsteingebirge für Anlagenentwicklungen, die mit hoher

Eintrittswahrscheinlichkeit versehen sind, im Rahmen des Barrierenintegritätsnachweises zum Beleg des vollständigen Einschlusses gefordert ist aufzuzeigen, dass die Schutzziele am Rand des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) eingehalten werden. Dabei sind advektive und diffusive Schadstofftransportprozesse durch die geologische Barriere zu betrachten. Zur Nachweisführung im Tonsteingebirge sind Fluidströmungen sowohl in Bereichen ohne technogene Überprägung F wie auch in Bereichen mit technogener Überprägung und daraus folgender Ausbildung von erhöhten sekundären Porositäten und Permeabilitäten zu analysieren. Eine korrosionsbedingte Gasbildung und abfallbedingte Temperaturerhöhungen können diese Strömungsprozesse intensivieren.

Demnach ist die Nachweisführung im Tonsteingebirge auch bei intakter Barrierenintegrität dem Bereich der Sicherheits- bzw. Risikoanalysen zuzuordnen, da auch bei intakter geologischer Barriere bei Nachweisen der Barrierenintegrität Schadstofftransporte in der geologischen Barriere und Schadstoffkonzentrationen in der geologischen Barriere bis zum Rand des ewG zu ermitteln sind.

Für Anlagenentwicklungen mit verletzter geologischer und / oder geotechnischer Barrierenintegrität sind Freisetzungs- und Konsequenzanalysen durchzuführen, die ebenfalls dem Bereich der Sicherheits- bzw. Risikoanalyse zugeordnet sind. Allerdings sind nunmehr neben der lokalen Mobilisierung von radio- und auch chemotoxischen Schadstoffen großräumige Schadstofftransportprozesse und schutzgutbezogene Immissionsprozesse in der Biospäre zu analysieren.

Vor diesem Hintergrund sind als Schnittstellen zwischen THM-Simulationen und Sicherheits- bzw. Risikoanalysen zum Beispiel zu nennen: Die Identifizierung von geogen am Standort vorgegebenen oder technogen induzierten Strömungsprozessen mit Strömungsrichtung und Strömungsrate im Endlagernahfeld bzw. in der geologischen Barriere, die hydraulische Leitfähigkeit geotechnischer Barrieren in Abhängigkeit von der Zeit sowie die hydraulische Leitfähigkeit geogen vorhandener oder technogen in Folge Dilatanz oder Infiltration induzierter Barriereschwachstellen.

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:

Für die als Vertikalprojekte definierten Entsorgungsoptionen eines geologischen Endlagers muss die langfristige Wirksamkeit der geologischen Barriere und der geotechnischen Barriere für relevante Einwirkungen belegt werden. Dieses Postulat gilt für die Optionen ohne oder mit Rückholung gleichermaßen. Der Beleg des vollständigen Einschlusses der Abfälle im ewG in der wahrscheinlichen Endlagerentwicklung und die Analysen potentieller großräumiger Fluidströme in wenig wahrscheinlichen Endlagerentwicklungen sind zentraler Aspekt der Langzeitsicherheitsanalyse und werden mit den jeweilig zugeordneten Fluidströmen damit auch zentraler Teil des Transversalprojektes „Interdisziplinäre Risikoforschung“

Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten:

Die Analyse möglicher Radionuklidfreisetzungen bzw. der Beleg ihrer Isolation in der geologischen Barriere ist grundlegender Baustein der Sicherheitsdokumentation / Langzeitsicherheitsanalyse.

Beginn / Laufzeit:

Monat 37-60

3.5.3 AP „Numerische Modellierung von THMC-Prozessen“ (TUC, Institut für Endlagerforschung)

Titel / Langfassung:
Numerische Modellierung thermischer, hydraulischer, mechanischer und chemischer Prozesse (THMC-Prozesse) auf der Basis einer Softwareplattform zur Langzeitsicherheitsanalyse

Bearbeiter:
Prof. Dr. K.-J. Röhlig + N.N.

Kurzbeschreibung:
Die im AP 3.4.1 zu entwickelnde Softwareplattform soll einerseits zu einer radiologischen Bewertung des Gesamtsystems Tiefenlager herangezogen werden („integrierte Modellierung“), andererseits aber auch die Basis für die Einbindung bereits bestehender Codes zur numerischen Modellierung einzelner thermischer, hydraulischer, mechanischer und chemischer Prozesse (THMC-Prozesse – „Prozessmodellierung“) bilden und die Schnittstelle zwischen beiden Ebenen der Modellierung herstellen. Für die Prozessmodellierung stehen eine Reihe stark unterschiedlicher Codes mit voneinander sehr verschiedenen Anwendungsgebieten zur Verfügung. Auch das Ziel der AP 3.5.1 und 3.5.2 ist die Schaffung bzw. Weiterentwicklung solcher Modelle. Es ist notwendig, über die zu entwickelnde Softwareplattform die Arbeit mit diesen einzelnen Prozessmodellen zu koordinieren und ein gemeinsames Daten- und Qualitätsmanagement einzuführen, um so zu einer ganzheitlichen Bewertung von Tiefenlagersystemen beizutragen.
Im hier dargestellten AP soll die methodische und informationstechnische Basis für eine solche Einbindung verschiedener bereits existierender Prozess-Modelle geschaffen werden. Die Vorgehensweise soll anhand dreier Modelle getestet und demonstriert werden, wobei lediglich das unter Punkt 3 genannte Modell innerhalb des AP 3.5.3 zu entwickeln ist:

1. Der THM-gekoppelten Nahfeld-Prozesssimulation im Salinargebirge (AP 3.5.1)
2. Der THM-gekoppelten Nahfeld-Prozesssimulation im Tonsteingebirge (einschließlich Zweiphasenfluss) (AP 3.5.1)
3. Einem im IELF zu erstellenden THC-Modell zum Verhalten gelöster Schadstoffe im Temperaturfeld und entlang von Salinitätsgradienten: Die Ausbreitung von Schadstoffen im Wirtsgestein und im Deckgebirge durch salinare Lösungen ist von entscheidender Bedeutung für die Erreichung radiologischer Schutzziele. Hierbei sind die Gesteins-Lösungs-Reaktionen zu betrachten, die in den Wirtsgesteinen Salz, Tonstein oder Granit sehr unterschiedliche qualitative und quantitative Ansätze erfordern. Es ist erforderlich, auf der Basis vorhandener Programmpakete (EQ3/6, PHREEQC) das Verhalten gelöster Schadstoffe im Temperaturfeld und entlang von Salinitätsgradienten unter Zuhilfenahme etablierter Fraktionierungs- und Sorptionsmechanismen zu modellieren und diesen Aspekt in die Plattform zu integrieren.

Im Rahmen des AP erfolgen folgende Arbeiten:

- Einbindung numerischer THMC-Modelle in die Softwareplattform: TUC-IELF (Fachgebiet Röhlig, 1 Wissenschaftler E13 anteilig 75% nur in den Monaten 37-60)
- Nahfeld- und Fernfeld-Prozessmodellierung: Kopplung thermischer, hydraulischer und chemischer Prozesse (THC): TUC-IELF (Fachgebiet Mengel, 1 Wissenschaftler E13)

Daneben wird auf Ergebnisse anderer APs zurückgegriffen (siehe „Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten“)
Im AP wird auch die Gesamtdarstellung und Synthese zur Option „Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit“ organisatorisch angesiedelt. Die Bearbeitung soll im Rahmen eines Unterauftrages erfolgen.

Stellung innerhalb des Gesamtantrags:

Teil des Vertikalprojekts „Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit“.
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Einbindung von Werkzeugen, die in den AP 3.5.1 „Weiterentwicklung des Instrumentariums zur THM-gekoppelten Nahfeld-Prozesssimulation im Salinargebirge“ sowie 3.5.2 „Weiterentwicklung des Instrumentariums zur THM-gekoppelten Nahfeld-Prozesssimulation im Tonsteingebirge“ erstellt werden. Erarbeitung von Schnittstellenanforderungen mit diesen AP. Prozessmodellierung: Input für AP 3.4.1 „Expertise und Instrumentarien zur Beurteilung der Langzeitsicherheit von Tiefenlagern“. Gesamtdarstellung und Synthese zur Option „Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit“ in Interaktion mit dem Transversalprojekt „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“
Beginn / Laufzeit: Monate 1-60. Es wird erwartet, dass die THM- bzw. THC-Prozessmodelle gegen Ende des Monats 36 in einer Form zur Verfügung stehen, dass ihre Einbindung vom Monat 37 an aktiv verfolgt werden kann.

3.6 Vertikalprojekt „Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit“

Bei der Konzeption möglicher zu errichtender Endlager wurde in der Bundesrepublik Deutschland bisher die wartungsfreie Endlagerung der radioaktiven Reststoffe in tiefen geologischen Formationen favorisiert. Die Frage einer möglichen Rückholung wurde dabei insbesondere hinsichtlich der Sicherheit, aber auch bezüglich ethischer Anforderungen kontrovers diskutiert. Der Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AKEnd) kam in seinem Abschlussbericht[9] zu der Auffassung, dass die sicherheitsbezogenen Argumente höher einzustufen seien als die ethischen Argumente, nach denen insbesondere die Handlungsfreiheit zukünftiger Generationen nicht eingeschränkt werden sollte.

Insbesondere vor dem Hintergrund der Diskussionen über die Schachtanlage Asse II, aber auch der Entwicklungen in unseren Nachbarstaaten, wurde die Diskussion der Rückholung in neuerer Zeit wieder aufgenommen. Die Entsorgungskommission (ESK), Ausschuss Endlagerung radioaktiver Abfälle (EL), veröffentlichte im Herbst 2011 Thesen zur Rückholung bzw. Rückholbarkeit hochradioaktiver Abfälle aus einem Endlager[10]. Zur Diskussion werden hier unterschiedliche, zeitlich gestaffelte Verfahrensoptionen gestellt.

Vor diesem Hintergrund rücken die kontroversen ethischen bzw. sozialwissenschaftlichen, aber vor allem auch die mit der Rückholoption verbundenen, bisher nicht beantworteten ingenieurwissenschaftlichen Fragen zur Standsicherheit, Dichtigkeit und damit Funktionstüchtigkeit der Tiefenlager in den Fokus der Diskussionen. Unabhängig von den Optionen, die einer Rückholung zugrunde liegen können, sind die Schutzziele

- Schutz der Biosphäre vor schädlicher radioaktiver Strahlung und vor chemotoxischer Gefährdung,
- Schutz der Tagesoberfläche und
- Arbeitsschutz der Belegschaft der Anlage

genauso zu gewährleisten, wie bei einer Endlagerung. Der Erhalt der

[9] AkEnd Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte: Auswahlverfahren für Endlagerstandorte - Empfehlungen des AkEnd; 2002

[10] Endlagerkommission (ESK), Ausschuss Endlagerung radioaktiver Abfälle: Rückholung/Rückholbarkeit hochradioaktiver Abfälle aus einem Endlager – Ein Diskussionspapier; 2011

Funktionstüchtigkeit des Tiefenlagers über lange Zeiträume, aber auch der Schutz gegen unbefugtes Eindringen in die Anlage, werfen hierbei neue Fragen auf. Gegebenenfalls kann es zu Zielkonflikten kommen. Die Wichtigkeit dieser Forschung wird auch dadurch unterstrichen, dass in dem Strategie Papier[11] der IGD-TP diese Fragestellungen enthalten sind. Der Kontakt zur IGD-TP wird für den Austausch von Forschungsergebnissen und die gegenseitige Information gesucht.

Hinsichtlich der Zeitdauer, über die eine Rückholbarkeit gewährleistet werden soll, werden zurzeit mehrere hundert Jahre diskutiert. Setzt man voraus, dass das Tiefenlager danach ohne großen technischen Aufwand in ein Endlager übergehen soll, so sind die Einlagerungsarten, wie zum Beispiel die Kammer- oder die Bohrlochlagerung, so zu gestalten, dass sie während der Betriebsphase und über die Dauer der Rückholoptionen die Überwachung und Rückholung auch gewährleisten. Von besonderer Bedeutung ist hierbei der Erhalt der Integrität der Abfallgebinde. Dies bedingt eine ausreichende Robustheit der Gebinde, aber auch deren Schutz vor den Einwirkungen aus dem Wirtsgestein, wie Gebirgsdruck und Fluidzutritt, sowie unbefugtem Eindringen. Aus diesen Aspekten heraus resultiert eine mehrdimensionale Abhängigkeitsmatrix mit den Einflussfaktoren:

- Geologische Formation
- Zugang über Schacht oder Stollen
- Tiefe der Einlagerungsbereiche
- Einlagerung der Reststoffe in Kammern, Strecken oder vertikalen oder horizontalen Bohrlöchern
- Geotechnische Bauwerke
- Standsicherheit der Grubenräume
- Abfallgebinde
- Geotechnische Rahmenbedingungen hinsichtlich der Rückholung
- Zeitraum einer möglichen Rückholung

Da die den Untersuchungen zugrunde liegenden Parameter in den meisten Fällen Streubreiten aufweisen, sind ggf. probabilistische Betrachtungen erforderlich, die in Risikoanalysen zur Bewertung der Standsicherheit und Dichtigkeit, d.h. der Funktionstüchtigkeit münden. Diese technisch fundierten Risikoabschätzungen werden,

[11] IGD-TP Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform: Strategic Research Agenda; 2011

wie die Erfahrungen der vergangenen Jahre zeigen, jedoch nicht ausschlaggebend für die gesellschaftliche Akzeptanz und das Risikobewusstsein der Bevölkerung sein. Es ergibt sich nicht zuletzt deshalb die Notwendigkeit zur Interaktion mit dem Transversalprojekt „Interdisziplinäre Risikoforschung“, um zu tragfähigen Schlussfolgerungen zu kommen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ergibt sich aus der Zeitdauer, in der eine Rückholung der radioaktiven Reststoffe möglich sein soll. Die Lebensdauer üblicher ingenieurtechnischer Bauwerke beträgt im Normalfall weniger als hundert Jahre. Mit der zurzeit diskutierten Optionsdauer von mehreren hundert Jahren ist bereits bei der Planung eines derartigen Tiefenlagers das Verhalten der Systemkomponenten über die Lebensdauer mit einzubeziehen. Dieses als Life-Cycle-Engineering bezeichnete Vorgehen berücksichtigt die Veränderung der Funktionsfähigkeit der Anlage, zum Beispiel infolge von Alterung der verwendeten Materialien.

Die zeitliche Veränderung der Zustände hinsichtlich der Einwirkungen und Widerstände erfordern eine ingenieurtechnische Begleitung der Systemkomponenten und des Gesamtsystems des Tiefenlagers über die Lebensdauer. Dies macht ein umfangreiches Monitoring der Systemkomponenten, aber auch des Wirtsgesteins erforderlich. Darüber hinaus ist auch ein aus dem Sicherheitskonzept abgeleitetes Monitoringprogramm erforderlich. Erste Untersuchungen hierzu liegen mit dem Bericht zur "Überwachung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle in Deutschland"[12] vor, in dem besonderer Wert auf den Erhalt der Integrität der geotechnischen Barrieren gelegt wird. Hierdurch ergeben sich weitergehende komplexe Fragestellungen zur Erfassung der erforderlichen Parameter. In dem EU-Forschungsvorhaben MoDeRn werden bereits jetzt auf internationaler Ebene die Grundlagen für Monitoringkonzepte für Endlager geschaffen und im März 2013 auf dem Workshop "Monitoring in Geological Disposal of Radioactive Waste: Objectives, strategies, technologies and public involvement" vorgestellt. Erste Ergebnisse aus dem Arbeitspakte 4 über den Einsatz von Monitoringsystemen liegen u. a. mit dem Artikel "Development of a theoretical monitoring system design for a HLW repository based on the „MoDeRn Monitoring Workflow“[13] vor. Diese Erkenntnisse werden für die weitergehenden Arbeiten als Grundlagen verwendet.

[12] Jobmann, Eilers, Haverkamp: Überwachung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle in Deutschland - Möglichkeiten und Grenzen; atwJournal; 2011

[13] Jobmann, Schröder, White: Development of a theoretical monitoring system design for a HLW repository based on the „MoDeRn Monitoring Workflow“; WM2012 Conference, Phoenix, Arizona, USA; 2012 (in press)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit der Option der Rückholung Fragen aufgeworfen werden, für die noch keine ausreichenden wissenschaftlich fundierten Antworten verfügbar sind. Darüber hinaus sind die interaktiven Zusammenhänge von einer Komplexität, die eine ingenieurwissenschaftliche Ausarbeitung von Konzepten zur Tiefenlagerung mit der Option zur Rückholbarkeit der radioaktiven Reststoffe erfordert, die dann auch der kritischen Prüfung gesellschaftlicher Akzeptanz standhalten müssen.

Mit der Option der Rückholung ergeben sich eine Vielzahl von Rahmenbedingungen, Abhängigkeiten und Interaktionen, die eine forschungsrelevante Charakteristik besitzen. Insbesondere die zeitlich veränderlichen Größen sind dabei von besonderer Bedeutung. Der folgende Abriss, mit dem kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird, soll dies veranschaulichen:

- **Abfall:** Zerfall, Strahlungsintensität, Kritikalität, Chemismus
- **Abfallgebinde:** Spannungs-Dehnungsverhalten, thermisches Verhalten, Alterung, Korrosion
- **Versatz:** Spannungs-Dehnungsverhalten, thermisches Verhalten, chemisches Verhalten, Permeabilität, Sorption
- **Einlagerungskammern und -bohrlöcher:** Konvergenz, Dichtigkeit
- **Geotechnischer Ausbau:** Spannungs-Dehnungsverhalten, thermisches Verhalten, Permeabilität, Alterung, Korrosion, Funktionalität
- **Geotechnische Verschlussbauwerke:** Spannungs-Dehnungsverhalten, thermisches Verhalten, Permeabilität, Alterung, Korrosion, Funktionalität
- **Technische Bauwerke der Infrastruktur:** Funktionalität, Alterung
- **Wirtsgestein und Deckgebirge:** Spannungs-Dehnungsverhalten, thermisches Verhalten, Permeabilität, Fluidsensitivität, Sorption

Darüber hinaus sind vor dem Hintergrund der Rückholbarkeit folgende Methoden bzw. Verfahren an die Rahmenbedingungen anzupassen:

- **Life-Cycle-Engineering:** Auslegung über lange Zeiträume, Sanierungsmaßnahmen nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich
- **Technisches und geotechnisches Monitoring:** Erfassung zeitlich veränderlicher Zustandsgrößen über lange Zeiträume, eingeschränkte Zugänglichkeit der Messlokationen, Einfluss der Messeinrichtungen auf die Funktionalität der Schutzsysteme und Einhaltung der Schutzziele
- **Umwelttechnisches Monitoring:** Überwachung der Sicherheitskriterien, Maßnahmen bei Überschreitungen

Die Mehrdimensionalität der oben genannten Abhängigkeitsmatrix, deren Ergebnis die möglichen Deponiekonzepte mit Rückholoption sein werden, macht es für die wissenschaftliche Untersuchung zunächst erforderlich, ein Grundgerüst zu entwickeln, d.h. die Anzahl der Einflussfaktoren sinnvoll einzugrenzen. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse können dann in einer zweiten Phase weitere Varianten entwickelt werden. Zunächst aber werden folgende Festlegungen und Eingrenzungen getroffen:

- Eingrenzung auf die geologische Formationen: Salz in steiler Lagerung – Salz in flacher Lagerung – Ton – Tonstein – kristalline Gesteine
- Eingrenzung auf zwei Arten von Tiefenlager: Stollenanlage – Schachtanlage
- Eingrenzung auf zwei Einlagerungsarten: Kammerlagerung – Bohrlochlagerung
- Eingrenzung der Rückholoptionen auf drei Konzepte: Rückholung ohne wesentlichen technischen Aufwand, Rückholung mit erhöhtem technischen Aufwand und Rückholung mit hohem technischen Aufwand (Bergung)
- Intakte Abfallgebinde
- Begrenzung der Dauer der Rückholbarkeit auf mehrere hundert Jahre
- Berücksichtigung von hochradioaktiven, mittelradioaktiven und schwachradioaktiven Abfällen

Diese Zusammenstellung ist als erster Ansatz zu verstehen, der den ingenieurwissenschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Forschungsergebnissen regelmäßig anzupassen ist.

3.6.1 AP „Geotechnische Bewertung von Endlagerkonzepten mit der Option zur Rückholbarkeit“ (TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik)

Titel / Langfassung: Geotechnische Bewertung von Endlagerkonzepten mit der Option zur Rückholbarkeit der radioaktiven Reststoffe
Bearbeiter: Prof. Dr. J. Stahlmann + N.N.
Kurzbeschreibung: Innerhalb dieses Projektes sollen auf der Grundlage der vorhandenen Endlagerkonzepte Rückholoption in unterschiedlichen geologischen Formationen und Tiefen mit dem Fokus auf geotechnische und geomechanische Fragestellungen bewertet und die zugrunde liegenden Konzepte ggf. an die Erfordernisse adaptiert werden. Hierbei stellen die Erkenntnisse aus den Konzeptstudien für Endlager[14, 15] und die internationale Technologie Plattform IGD-TP eine wesentliche Grundlage dar. Jedoch ist festzustellen, dass die oben genannten Optionen zur Rückholbarkeit bisher noch nicht in der Auslegung der geotechnischen Bauwerke berücksichtigt werden. Aufbauend auf den Festlegungen und Eingrenzungen des Kapitels 3.6 sollen die geotechnischen Erfordernisse und Rahmenbedingungen für die Rückholoptionen in unterschiedlichen Wirtsgesteinen und Tiefen untersucht werden. Für die drei zu berücksichtigenden Rückholoptionen ist die technische Machbarkeit in den jeweiligen geologischen Formationen und Teufenlagen auch hinsichtlich der Standzeit und des erforderlichen Ausbaus zu prüfen; gegebenenfalls sind nur ausgewählte Optionen weiter zu berücksichtigen. Hierfür wird die mehrdimensionale Abhängigkeitsmatrix entwickelt. Durch eine Szenarienanalyse ist die grundsätzliche geotechnische und geomechanische Umsetzung der Konzepte für die Betriebs- und Nachbetriebsphase zu bewerten. Abschließend sind sämtliche Konzepte hinsichtlich der gesellschaftlichen Akzeptanz zu überprüfen. Aufgrund der gesellschaftlichen Akzeptanz und geotechnischen Bewertung können einzelne Konzepte für eine tiefergehende Betrachtung in den Arbeitspaketen empfohlen werden. Diese Arbeiten werden im Arbeitspaket 3.6.4 fortgesetzt. Im Rahmen der Bearbeitung ist ein internationaler Austausch, zum Beispiel mit der NAGRA (Schweiz) oder SANDIA (USA), über Erfahrungen und Entwicklungen vorgesehen.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Teil des Vertikalprojektes "Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit"

[14] Bollingerfehr et al.; Synthesebericht Entwicklung und Umsetzung von technischen Konzepten für Endlager in tiefen geologischen Formationen in unterschiedlichen Wirtsgesteinen - EUGENIA (FKZ02E10346); 2011

[15] ANDRA: Dossier 2005 Argile und Dossier 2005 Granite; 2005

Verbindungslinien zu anderen Arbeitspaketen: Es bestehen Querverbindungen zu Transversalprojekt "Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)", Transversalprojekt "Technikfolgenabschätzung und Governance", Transversalprojekt "Ethisch-moralische Begründung, rechtliche Voraussetzungen und Implikationen“, darunter das AP 'Umweltethik' (3.3.1) und Transversalprojekt „Interdisziplinäre Risikoforschung“. Das Arbeitspaket stellt Grundlagen für die weiteren Arbeitspakete im Vertikalprojekt "Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit" zur Verfügung.
Beginn / Laufzeit: Monat 1-36

3.6.2 AP „Monitoringbasiertes Life-Cycle-Engineering“ (TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik)

Titel / Langfassung: Monitoringbasiertes Life-Cycle-Engineering geotechnischer Schutzsysteme in Tiefenlagern mit der Option zur Rückholbarkeit der radioaktiven Reststoffe
Bearbeiter: Prof. Dr. J. Stahlmann + N.N.
Kurzbeschreibung: Mit der Option planmäßiger Rückholbarkeit in der Betriebs- und Nachbetriebsphase erhalten geotechnische Schutzsysteme zur Aufnahme geomechanischer und geohydraulischer Einwirkung eine höhere Bedeutung, da die Zugänglichkeit der Einlagerungsbereiche gewährleistet werden muss und die geologische Barriere in dieser Zeitspanne nicht planmäßig in Anspruch genommen werden kann. Die diese Systeme umfassenden Bauwerke sind daher für eine Lebenszeit von zum Beispiel 500 Jahre in ihrer Funktionsfähigkeit zu erhalten, ohne vom Wirtsgestein gegenüber Verwitterungsprozessen geschützt zu sein. Darüber hinaus ist dem zeitlich veränderlichen Baustoffverhalten und den Einwirkungen durch die Abfälle Rechnung zu tragen. Eine völlig wartungsfreie Auslegung über die Dauer der Rückholbarkeit entspricht bei diesen Randbedingungen nicht dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen die im Bauwesen üblichen Methoden des Life-Cycle-Engineerings in einem ersten Schritt an die Gegebenheiten untertage angepasst werden. Wobei in diesem Zusammenhang mit Life-Cycle-Engineering die Berücksichtigung der Zustandsgrößen und der Funktionsfähigkeit sowie deren Veränderung über die Lebensdauer eines Bauwerks bereits in der Planung und Ausführung sowie im Betrieb gemeint ist. Um die Zustandsänderungen der geotechnischen Bauwerke im Sinne der Erhaltung der Funktionsfähigkeit messtechnisch zu erfassen, sollen Monitoringsysteme auf Basis der Ergebnisse der Forschungsvorhaben MonA und MoDeRn weiterentwickelt werden, mit denen geotechnische Schutzsysteme für unterschiedliche Endlageroptionen in verschiedenen geologischen Formationen überwacht werden können.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags:

Teil des Vertikalprojektes "Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit"
Verbindungslinien zu anderen Arbeitspaketen: Es bestehen Querverbindungen zu Transversalprojekt "Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)", Transversalprojekt "Technikfolgenabschätzung und Governance" Transversalprojekt "Ethisch-moralische Begründung, rechtliche Voraussetzungen und Implikationen“, darunter das AP 'Umweltethik' (3.3.1) und Transversalprojekt „Interdisziplinäre Risikoforschung“. Im Arbeitspaket wird die Synthese der Arbeitspakete des Vertikalprojekts „Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit“ entwickelt.
Beginn / Laufzeit: Monat 1-36

3.6.3 AP „Risikoanalytische Bewertung geotechnischer Schutzsysteme“ (TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik)

Titel / Langfassung: Risikoanalytische Bewertung geotechnischer Schutzsysteme in Tiefenlagern mit der Option zur Rückholbarkeit der radioaktiven Reststoffe
Bearbeiter: Prof. Dr. J. Stahlmann + N.N.
Kurzbeschreibung: Mit der Option planmäßiger Rückholbarkeit kommt den geotechnischen Systemen, zusätzlich zu der bei Endlagern erforderlichen Barrierewirkung, die Funktion des Erhalts der Unversehrtheit der Abfallgebinde zu. In Abhängigkeit von der geologischen Formation müssen ggf. die geomechanischen und geohydraulischen Einwirkungen aufgenommen und von den Abfallgebinden ferngehalten werden. Aufgrund der streuenden Parameter der den Einwirkungen und Widerständen zugrunde liegenden Mechanismen und des zeitlich veränderlichen Verhaltens insbesondere der Baustoffe sind zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit der Systeme probabilistische Methoden erforderlich. Mit den Zielgrößen der Permeabilität und Standsicherheit lassen sich die Risiken der geotechnischen Systeme für unterschiedliche Entsorgungsoptionen in verschiedenen geologischen Formationen ermitteln und vergleichen. Die gewonnenen ingenieurwissenschaftlichen Ergebnisse können damit in die Forschungen zur Akzeptanz von Endlageroptionen einfließen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen die vorhandenen Konzepte für geotechnische Systeme um die Funktion des gebirgsmechanischen Schutzes der Abfallgebinde erweitert und an die Option der Rückholbarkeit adaptiert werden. Hierbei ist zu untersuchen mit welchem Risiko die Hohlraumsicherungen und Abdichtungen ihre Funktionstüchtigkeit verlieren. Gegebenenfalls müssen die vorhandenen Konzepte weiterentwickelt werden. Den Untersuchungen wird zunächst ein Zeithorizont für die Rückholbarkeit von mehreren hundert Jahren zugrunde gelegt.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags:

Teil des Vertikalprojektes "Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit"
Verbindungslinien zu anderen Arbeitspaketen: Es bestehen Querverbindungen zu Transversalprojekt "Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)" und Transversalprojekt "Technikfolgenabschätzung und Governance". Die technischen Inhalte werden mit dem Vertikalprojekt "Oberflächenlagerung" abgestimmt. Das Arbeitspaket baut auf das AP 3.6.1 auf.
Beginn / Laufzeit: Monat 1-36

3.6.4 AP Untersuchung der Interaktion der geotechnischen Erfordernisse des Life-Cycle-Engineerings und der risikoanalytischen Betrachtung von Tiefenlagern mit der Option zur Rückholbarkeit“ (TUBS, Institut für Grundbau und Bodenmechanik)

Titel / Langfassung: Untersuchung der Interaktion der geotechnischen Erfordernisse des Life-Cycle-Engineerings und der risikoanalytischen Betrachtung von Tiefenlagern mit der Option zur Rückholbarkeit
Bearbeiter: Prof. Dr. J. Stahlmann + N.N.
Kurzbeschreibung: Aufbauend auf den Empfehlungen des Arbeitspaketes 3.6.1, die neben der Berücksichtigung der gesellschaftlichen Akzeptanz auch die technische und geotechnische Machbarkeit berücksichtigen, und den Ergebnissen der Arbeitspakete 3.6.2 und 3.6.3 können für diese Konzepte Monitoringprogramme mit Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums entwickelt werden. Aufgrund der bisher geringen Erfahrung mit dem durchgängigen Betrieb von Monitoringprogrammen über lange Zeiträume soll hier auf den Ergebnissen der nationalen (ERATO[16], MonA) und internationalen (MoDeRn) Forschung aufgebaut werden. Neben der Dauerhaftigkeit der Messgeber und der Energieversorgung stellt sich auch die Frage nach der Datenkonsistenz der erfassten Messwerte. Hierbei sind auch Meldewerte und -systeme zu entwickeln, die über die Betriebsphase des Monitoringprogramms ihre Gültigkeit behalten bzw. deren Randbedingungen an die zukünftigen Gegebenheiten angepasst werden können. Die Entwicklung eines transparenten Monitoringprogramms mit verständlichen und sinnvollen Meldewerten für Endlager mit Rückholoption kann die gesellschaftliche Akzeptanz erhöhen und schafft Vertrauen für zukünftige Entwicklungen.

[16] Jobmann, Haverkamp, Seidel: Untersuchung geeigneter Methoden für das Monitoring eines Endlagers in tiefen geologischen Formationen von der Oberfläche aus und in der Betriebs- und frühen Nachbetriebsphase – Abschlussbericht (FKZ 3609R03224); 2011

Der weitere internationale Austausch von Erfahrungen und Entwicklungen wird angestrebt.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Teil des Vertikalprojektes "Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit"
Verbindungslinien zu anderen Arbeitspaketen: Es bestehen Querverbindungen zu Transversalprojekt "Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)", Transversalprojekt "Technikfolgenabschätzung und Governance" und Transversalprojekt "Interdisziplinäre Risikoforschung". Die technischen Inhalte werden mit dem Vertikalprojekt „Endlagerung ohne Rückholbarkeit“ abgestimmt. Das Arbeitspaket baut auf das AP 3.6.1 auf.
Beginn / Laufzeit: Monat 37-60

3.6.5 AP „Beurteilung von Langzeitstabilität“ (LUH, Institut für Werkstoffkunde)

Titel / Langfassung: Wechselwirkungen zwischen Endlager, Lagerungssystem und Reststoffen zur Beurteilung von Langzeitstabilität und Rückholbarkeit
Bearbeiter: Prof. Dr. Fr.-W. Bach + Dr. T. Hassel
Kurzbeschreibung: Es ist für jede Endlagerungsvariante bzw. Entsorgungsoption klar herauszuarbeiten, welche Beziehungen zwischen Endlagerumgebung (Klima etc.), Lagerbehältersystemen und radioaktiven Reststoff im Behälter und welche Wechselwirkungen aus materialwissenschaftlicher Sicht zwischen diesen Systemen bestehen. Davon ausgehend kann dann eine werkstofftechnisch fundierte Planung und Festlegung des notwendigen Monitorings der jeweiligen Endlageroption erfolgen, womit der Status des Behälters hinsichtlich Korrosion und Dichtheit abgefragt und dargestellt werden kann. Ebenfalls sind Strategien zu entwickeln, womit die Umgebungsbedingungen regelmäßig erfasst, interpretiert und deren Änderung in Handlungsszenarien umgesetzt werden können. Basierend auf den Erfahrungen zur Langzeitstabilität der Behältersysteme als komplexes Werkstoffsystem und den im wesentlichen fehlenden Ansätzen, eine quantitative Aussage zur Langzeitstabilität von Behältern treffen zu können, soll hier die optimale Grundlage als Entscheidungshilfe für die Optionsauswahl geschaffen werden.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Innerhalb der Initiative „Interdisziplinäre Analysen und Bewertung von Entsorgungsoptionen für bestrahlte Kernbrennstoffe und radioaktive Abfälle“ ist die stetige Überprüfung der Auswahl der Entsorgungsoptionen notwendig, zu welcher eine fundierte technische Bewertung der jeweiligen Ansätze durchgeführt werden muss. Die Wirkung der Entsorgungsoption auf die Umwelt kann nur beurteilt werden, wenn die potentiellen und realen Wechselwirkungen im System Endlagerungsoption bekannt sind und realistisch bewertet worden sind. Das Projekt stützt die Überlegungen zur technischen und logistischen Umsetzbarkeit, der Sicherheit und den Auswirkungen für Mensch und Umwelt (kollektive und individuelle Strahlenbelastung sowie nicht-radiologische Auswirkungen) zur Auswahl der Entsorgungsoptionen als Transversalprojekt.
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Lieferung von Daten und Rahmenbedingungen zur Langzeitstabilität für die Entwicklung von Entsorgungsoptionen. Fundierte Wissensbasis zur Beurteilung von Sicherheit und Risikoabschätzungen besonders in der Vernetzung zum AP 3.7.2 Lebensdauermodelle (Budelmann-TUBS)
Beginn / Laufzeit: Jahr 1-5 / Monat 1-60

3.6.6 AP „Interventionstechniken zur sicheren Rückholbarkeit“ (LUH, Institut für Werkstoffkunde)

Titel / Langfassung:

Universelle und intelligente Interventionstechniken zur Freilegung, Handhabung und zum Transport rückzuholender Containments und Massen zur sicheren Rückholbarkeit im Lebenszyklus der Entsorgungsoption
Bearbeiter: Prof. Dr. Fr.-W. Bach + Dr. T. Hassel
Kurzbeschreibung: Schwerpunkt des Projektes ist die Definition von Randbedingungen zur Rückholbarkeit der radioaktiven Reststoffe, welche für die einzelnen Entsorgungsoptionen stark unterschiedlich sind und eine absolut notwendige Grundlage zur Entscheidungsfindung darstellen. Dazu sind Rückholstrategien zu entwickeln, welche auf konstruktiven und werkstoffkundlichen Argumentationen bestehen und die technische Sicherheit dieses Vorgangs abbilden, so dass faktische Entscheidungshilfen hier ebenfalls die gewählte Endlageroption kritisch hinterfragen. Zusätzlich angedacht ist die sichere Intervention bei nicht vorhersehbaren Ereignissen, welche zum Beispiel zu einer Schwächung der Behältersysteme führen könnte, welche eine sichere Entfernung der Reststoffbehälter, der Reststoffe und deren Behandlung ermöglicht. Hierzu soll im Projektverlauf durch eine umfassende Analyse der Einflussparameter hierarchisch aufgebaut eine Entscheidungsmatrix geschaffen werden, welche für die jeweiligen definierten Zustände als Entscheidungshilfe genutzt werden kann, um eine Rückholbarkeit aus zukünftigen Endlagern technisch zu ermöglichen. Resultierend aus den durchzuführenden Arbeiten soll die Endlagerplanung mit einem integrierten Rückholkonzept ausgestattet werden, welches nach dem aktuellen Stand der Technik real und sicher durchführbar ist. In Bezug auf die Langfristigkeit der Endlagerungsforschung ist weiterhin geplant, neue optimierte Techniken in die Schnittstellen der Entscheidungsmatrix zu integrieren, wenn sie aus dem Entwicklungsstadium in die Marktreife übergehen, so dass eine stetige Erweiterung des Rückholtechnik–„Werkzeugkastens“ erfolgt.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Insbesondere die Lagerung mit Option der Rückholung erfordert ein erneutes Handling der Abfälle und bedarf einer Betrachtung hinsichtlich der sicheren technischen Umsetzung. Teil des Vertikalprojekts „Endlagerung mit Option auf Rückholung“
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Zuarbeit zum Vertikalprojekt „Endlagerung mit Rückholbarkeitsoption“, sowie im Bereich der oberflächennahen Zwischenlagerung AP 3.7.1 Oberflächenlagerung (Budelmann-TUBS).
Beginn / Laufzeit: Jahr 1-5 / Monat 1-60

3.6.7 AP „In-situ-Datenerhebung und Demonstration in der Überwachungsphase eines Tiefenlagers“ (TUC, Institut für Endlagerforschung und Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik)

Titel / Langfassung: Entwicklung eines Konzepts zur in-situ-Datenerhebung und Demonstration sicherheitsrelevanter Phänomene in der Überwachungsphase eines Tiefenlagers
Bearbeiter: Prof. Dr. K.-H. Lux, Prof. Dr. K.-J. Röhlig + N.N.

Kurzbeschreibung: Aufbauend auf den Ergebnissen der Arbeitspakete 3.6.1 „Konzeptionelle Untersuchungen (1)“ und 3.6.3 „Monitoringbasiertes Life Cycle Engineering geotechnischer Schutzsysteme in Endlagern mit planmäßig rückholbaren radioaktiven Abfällen“ sowie basierend auf einschlägigen FEP-Katalogen (FEP = features, events, processes) erfolgt eine Zusammenstellung sicherheitsrelevanter Eigenschaften und Prozesse, für die Messungen und Beobachtungen über den Zeitraum einer Überwachungsphase eines Tiefenlagers sinnvoll und möglich erscheinen. Der Katalog dieser Eigenschaften und Prozesse wird mit den Ergebnissen des Transversalprojekts 4 „Interdisziplinäre Risikoforschung“ abgeglichen und in ein Konzept mit Handlungsmöglichkeiten für die Überwachungsphase (zum Beispiel: Auffahren eines Blindschachts, Bau eines Schachtverschlusses und Messungen zu dessen hydraulischen und mechanischen Charakteristika; entsprechende Instrumentierung) überführt.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Teil des Vertikalprojekts „Einlagerung in tiefe geologische Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit“
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Nutzung von Ergebnissen von 3.6.1 „Konzeptionelle Untersuchungen (1)“ und 3.6.3 „Monitoringbasiertes Life Cycle Engineering geotechnischer Schutzsysteme in Endlagern mit planmäßig rückholbaren radioaktiven Abfällen“. Abgleich mit Transversalprojekt „Interdisziplinäre Risikoforschung“ (d.h. Ermittlung von Bedarf an Überwachung aus dem Transversalprojekt und Kommunikation von Ergebnissen zu diesbezüglichen Möglichkeiten in das Transversalprojekt).
Beginn / Laufzeit: Monat 37-60

3.7 Vertikalprojekt „Oberflächenlagerung“

Die obertägige Lagerung hochradioaktiver Reststoffe ist in Deutschland derzeitig begrenzt auf die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und verglaster Wiederaufarbeitungsabfälle bis zum Zeitpunkt der Einlagerung in ein Endlager. Hierbei sind im Allgemeinen Zeithorizonte von vierzig Jahren projektiert und genehmigt. Es bestehen sowohl zentrale Zwischenlager (Gorleben, Ahaus, Lubmin) als auch Lager an Kraftwerksstandorten. Als technische Konzepte wurden bisher Hallen mit unterschiedlich dicken Stahlbetonwänden und Luftkühlung sowie (in einem Fall) die Zwischenlagerung in Tunneln realisiert. In anderen Ländern (zum Beispiel in Schweden) erfolgt auch eine wassergekühlte unterirdische Zwischenlagerung.

Im Zuge der Analyse und Bewertung von Entsorgungsoptionen sollen in diesem Vertikalprojekt langzeitige obertägige Einlagerungen in ingenieurtechnischen Barrieresystemen betrachtet werden. Ausführungserfahrungen mit solchen Konzepten liegen bisher in den Niederlanden (COVRA) vor; in Frankreich und den USA wurden und werden Konzeptstudien durchgeführt.

Ein solches Einlagerungskonzept bedingt gleichsam einen Paradigmenwechsel von bisherigen Endlagerkonzepten (ohne Rückholbarkeitsoption), die im Wesentlichen auf geologische Gegebenheiten vertrauten, zu einem Weg, der auf langzeitig zuverlässige technische Lösungen und menschliches Handeln beruht. Das bedingt die Auffindung geeigneter technischer Lösungen sowie deren Reversibilität und/oder Verbesserbarkeit/Reparierbarkeit/Ertüchtigbarkeit und schließlich zuverlässige Sicherheits- und Betriebskonzepte.

Die für einen solchen Ansatz zu betrachtenden Einlagerungskonzepte hängen wesentlich von den einzulagernden Reststoffen, den Schutzzielen und der vorgesehenen Einlagerungsdauer ab. Es handelt sich stets um technische Mehrbarrieresysteme, bestehend aus Behältern, Bauwerken und betrieblichen Einrichtungen. Die Motivation für eine langzeitige obertägige Zwischenlagerung kann sehr unterschiedlich sein, zum Beispiel dem Warten auf die Verfügbarkeit zukünftiger Behandlungstechnologien dienen oder eine Einlagerungsdauer entsprechend der Abklingfunktion der Aktivität bereitstellen. Daraus können höchst unterschiedliche Zieleinlagerungszeiten resultieren, die sogar weit oberhalb von 100 Jahren liegen können - also weit jenseits der Auslegungslebensdauer für langlebige Ingenieurbauwerke wie Tunnel, Meeresbrücken und andere. Das führt zu neuartigen

Anforderungen an die Bautechnik, die Werkstoffe, aber auch an ein durchgängiges Life-Cycle-Engineering, das Veränderungen an den Behältern und ingenieurtechnischen Bauwerken mittels eines Monitoring- und Prognosekonzeptes verfolgt. Dies wiederum ist die Voraussetzung, um benötigte Veränderungen, Reparaturen und Ertüchtigungen zu erkennen. Im Bereich der Anforderungen an Behälter erfolgt die Bearbeitung gemeinsam mit dem Institut für Werkstoffkunde der Universität Hannover (AP 3.6.6).

Obertägige Lagerungskonzepte müssen sich in besonderem Maße Akzeptanzdiskussionen stellen. Das notwendige Vertrauen in technische Lösungen muss einerseits durch den Nachweis von deren Zuverlässigkeit auf dem Wege von Risikobetrachtungen, also etwa mittels probabilistischer Ansätze, erreicht, aber vor allem im Rahmen der sozialwissenschaftlichen Transversalprojekte diskutiert werden. So stellen sich neuartige Fragen der Vermittlung und der geeigneten Governance-Konzepte (P 2) sowie auch rechtlichen Inhalts (P 3). Auch zum P 4 bestehen vielfache Verknüpfungen, da sowohl die Langzeitsicherheit dieser Entsorgungsoption als auch die von ihr ausgehende radiologische Gefährdung durch Freisetzung von Radionukliden zu betrachten sind.

Im Vertikalprojekt geht es darum, zunächst die Anforderungen an langzeitige obertägige Zwischenlager zusammenzustellen und den mehrdimensionalen Parameterraum für technische Lösungsansätze sowie deren Abhängigkeiten und Interaktionen zu beschreiben. Auf dieser Grundlage sollen dann Ableitungen erfolgversprechender Realisierungskonzepte für bestimmte Anforderungs- bzw. Parametersätze möglich werden. Das folgende Grundgerüst der einzubeziehenden Parameter definiert den Forschungsraum und die Ziele:

Reststoffe: schwach, mittel (vernachlässigbar wärmeentwickelnd) und hochaktiv (wärmeentwickelnd)

Schutzziele: Biosphäre (Luft, Wasser, Boden), Arbeitsschutz, Bevölkerungsschutz - Grenzwerte

Schutzanforderungen: Standsicherheit, Funktionalität, Dauerhaftigkeit, Wärmeableitung, Strahlungsreduzierung, Widerstand gegen außergewöhnliche Einwirkungen (Stürme, Fluten, Erdbeben, Flugzeugabstürze)

Geplante Einlagerungsdauer: > 100 Jahre, Abhängigkeit der Lösungen von der Einlagerungsdauer

Behälterkonzepte: Einbindung, Kapselung, Umschließung, betriebliche Maßnahmen

Bauwerk: Größe, Komponenten, technische Konstruktion, Herstellungsverfahren

Bautechnische Anforderungen: Schutzwirkungen, Bautechnik und Werkstoffe, Austauschbarkeit, Reparierbarkeit, Ertüchtigbarkeit,
Monitoring und Life-Cycle-Konzept: Anforderungen, Überwachungsgrößen, Funktionalität, Degradation, Prognose, Bauwerksentsorgung
Sicherheits- und QS-System: Betriebliche Anforderungen, Betriebsabläufe, Grenzwerte, Maßnahmen

Standort- und Transportfragen sollen in diesem Projekt nicht verfolgt werden.

In den Arbeitspaketen soll der Schwerpunkt auf die folgenden Aufgaben gelegt werden:

- Bautechnische Lösungen zur kombinierten Mehrbarrierewirkung von Behältern und Bauwerk
- Leistungskatalog für ingenieurtechnische Konstruktionen und Werkstoffe
- Monitoringbasiertes Life-Cycle-Konzept für Behälter und Bauwerke
- Probabilistisches Sicherheitskonzept und Risikoanalytische Bewertung von Lösungsansätzen
- Optionale Berücksichtigung späterer Reststoffbehandlungsmethoden zur Reduzierung von Mengen und Aktivität.

Fragen der Managementsysteme zur Gewährleistung von Überwachung und Wartung über Zeiträume jenseits von 100 Jahren sowie der gesellschaftlichen und finanziellen Voraussetzungen für solche Managementsysteme sind in der ersten Phase noch nicht Gegenstand des Vertikalprojektes.

3.7.1 AP „Bautechnische Konzepte“

(TUBS, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz)

Titel / Langfassung: Bautechnische Konzepte zur obertägigen Lagerung radioaktiven Abfalls
Bearbeiter: Prof. Dr. H. Budelmann
Kurzbeschreibung: Obertägige Lagerungskonzepte sind stets technische Mehrbarrieresysteme, die aus Einschließungskomponenten (Einbindung, Behältern) und aus bautechnischen Umschließungskomponenten (Bauwerken) bestehen. Als obertägige Lagerungskonzepte sollen obertägige Bauwerke, Deponien und oberflächennahe Grubenanlagen verfolgt werden. In Abhängigkeit von der Aktivität der Abfallstoffe und der vorgesehenen Einlagerungsdauer sollen Lösungskonzepte erarbeitet werden, die auch die betrieblichen Anforderungen berücksichtigen. Ziel ist - ausgehend von einem zu entwickelnden Anforderungskatalog - technische Lösungen zu erarbeiten und diese im Rahmen eines multikriteriellen Bewertungsschemas gegenüber zu stellen. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die jenseits der bautechnischen Erfahrung zu betrachtende Nutzungsdauer von bis zu 500 Jahren dar.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Einbindung technischer Realisierungsvarianten für die obertägige Lagerung in die gesellschaftliche, rechtliche und risikobezogene Diskussion unterschiedlicher Optionen in den Transversalprojekten 1 bis 4.
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Die technischen Inhalte des Arbeitspaketes sowie die Grundlagen der Konzeptfindung werden mit dem Vertikalprojekt "Endlagerung mit Rückholoption" abgestimmt. Alle Lösungsansätze haben hohe Relevanz für die Transversalprojekte zur Risikobewertung (3.4), Akzeptanz (3.2) und Kommunikation (3.1). Fragen zur Dosisbelastung sind bei obertägiger Lagerung von besonderer Relevanz; sie werden mit den Projekten 3.4.4 und 3.4.5 abgestimmt. Die zu integrierenden Konzepte für Behälter werden gemeinsam mit den Projekten 3.6.6 und 3.6.7 erarbeitet.
Beginn / Laufzeit: Monat 1-60

3.7.2 AP „Probabilistisches, monitoringbasiertes Sicherheits- und Life-Cycle-Konzept“ (TUBS, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz)

Titel / Langfassung: Probabilistisches, monitoringbasiertes Sicherheits- und Life-Cycle-Konzept für die obertägige Lagerung radioaktiven Abfalls
Bearbeiter: Prof. Dr. H. Budelmann + N.N.
Kurzbeschreibung: Die erforderliche Nutzungsdauer von bis zu mehreren 100 Jahren liegt weit oberhalb des Erfahrungsspektrums für Ingenieurkonstruktionen. Zudem ist das Sicherheitsbedürfnis sehr hoch. Ausgehend von Monitoringkonzepten und Life-Cycle-Engineering-Konzepten für Ingenieurbauwerke soll ein solches Konzept für die obertägige Lagerung entwickelt werden. Für Systemkomponenten und –gruppen werden Monitoring-, Prognose- und Interventionswerkzeuge (Reparatur, Austausch, Ertüchtigung etc.) entwickelt, die in einem modularen risikobasierten Bewertungsansatz zusammengeführt werden. Hier fließen auch die Aspekte des Abfallhandlungs- und des Bauwerksbetriebs ein.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Einbindung technischer Realisierungsvarianten für die obertägige Lagerung in die gesellschaftliche, rechtliche und risikobezogene Diskussion unterschiedlicher Optionen in den Transversalprojekten 4.
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Die technischen Inhalte des Arbeitspaketes sowie die Grundlagen der Konzeptfindung werden mit dem Vertikalprojekt "Endlagerung mit Rückholoption" abgestimmt. Alle Lösungsansätze haben hohe Relevanz für die Transversalprojekte zur Risikobewertung (3.4), Akzeptanz (3.2) und Kommunikation (3.1). Fragen zur Dosisbelastung sind bei obertägiger Lagerung von besonderer Relevanz; sie werden mit den AP 3.4.4 und 3.4.5 abgestimmt. Die zu integrierenden Konzepte für Behälter werden gemeinsam mit den AP 3.6.6 und 3.6.7 erarbeitet.
Beginn / Laufzeit: Monat 13-48

3.7.3 AP „Anforderungen aufgrund von Abfallbehandlungsmethoden“ (TUBS, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz)

Titel / Langfassung: Anforderungen an obertägige Lagerungskonzepte aufgrund von Abfallbehandlungsmethoden
Bearbeiter: Prof. Dr. H. Budelmann + N.N.
Kurzbeschreibung: Die obertägige Lagerung bietet prinzipiell den jederzeitigen Zugang zu eingelagerten Stoffen und somit die Voraussetzung, Abfälle zu bestimmten Zwecken behandeln zu können. Es soll untersucht werden, welche zusätzlichen Anforderungen durch zukünftige Behandlungsmethoden an obertägige Lagerungskonzepte gestellt und wie diese im technischen, betrieblichen und sicherheitsrelevanten System umgesetzt werden können. Ausgangspunkt für diese Fragen sollen die heutigen verfahrenstechnischen

Möglichkeiten wie sie z.B. für Partitionierung (also chemische Abtrennung hochaktiver Elemente) und Transmutation (Neutronenbestrahlung) im In- und Ausland untersucht werden sein. Weitere Zukunftsüberlegungen und deren Folgen für die Anlagen, wie zum Beispiel Veränderung der Abfallarten, sollen einbezogen werden.
Stellung innerhalb des Gesamtantrags: Einbindung technischer Realisierungsvarianten für die obertägige Lagerung in die gesellschaftliche, rechtliche und risikobezogene Diskussion unterschiedlicher Optionen in den Transversalprojekten.
Verbindungslinien zu anderen Teilprojekten: Die technischen Inhalte des Teilprojektes sowie die Grundlagen der Konzeptfindung werden mit dem Vertikalprojekt 6 "Endlagerung mit Rückholoption" abgestimmt. Alle Lösungsansätze haben hohe Relevanz für die Transversalprojekte zur Risikobewertung (3.4), Akzeptanz (3.2) und Kommunikation (3.1). Die Frage der Zugänglichkeit zu Abfällen ist in hohem Maße von den Behälterkonzepten abhängig; daher erfolgt enge Zusammenarbeit mit den AP 3.6.6 und 3.6.7.
Beginn / Laufzeit: Monat 24-60

4 Interdisziplinäre Vernetzung: Integrierende Aufgabenstellungen

Nachfolgend werden die integrierenden Aufgabenstellungen dargestellt, die zu einer Vernetzung der Projektpartner führen und damit entscheidend zum interdisziplinären Charakter der Plattform beitragen. Die Vernetzung der Projektpartner anhand der integrierenden Aufgabenstellungen wird im Rahmen des Transversalprojekts „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“ abgestimmt. Folgende integrierenden Aufgabenstellungen werden im Projekt disziplin- und arbeitspaketübergreifend bearbeitet:

4.1. Performance und radiologische Konsequenz

4.2. Governance- und Konfliktanalyse in nationaler und internationaler Perspektive

4.3. Sicherheit und Risikowahrnehmung

4.4. Monitoring

4.5. Außenkommunikation

Die Vernetzung wird in der nachfolgenden Tabelle schematisch dargestellt und anschließend anhand der fünf Integrierenden Aufgabenstellungen erläutert.

	TUC IELF	TUBS IRW	LUH IRS	LUH IW	TUBS iBMB	risicare	KIT INE	KIT ITAS	TUC IFAD	EMAUG IBL	FUB FFU	TUBS IGB	Verknüpfung mit TP/VP
AP 3.1.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	alle TP/VP
AP 3.1.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	alle TP/VP
AP 3.2.1		x	x		x	x		x		x	x	x	TP: P1, **P2**, P4
AP 3.2.2		x				x		x			x		TP: P1, **P2**, P4
AP 3.2.3	x	x	x		x	x	x	x			x	x	TP: P1, **P2**, P4
AP 3.2.4	x		x			x		x			x		TP: P1, **P2**, P3, P4
AP 3.3.1		x	x					x		x		x	TP: **P3**
AP 3.3.2		x				x		x		x	x		TP: **P3**
AP 3.4.1	x		x		x	x	x					x	TP: **P4**
AP 3.4.2	x		x		x	x	x	x			x	x	TP: **P4** und VP: P6
AP 3.4.3	x	x	x		x	x	x	x				x	TP: P2, **P4**
AP 3.4.4	x		x		x	x	x		x			x	TP: **P4**
AP 3.4.5			x		x	x	x					x	TP: **P4**
AP 3.4.6	x		x		x		x					x	TP: **P4** und VP: P5, P6
AP 3.5.1	x						x		x			x	TP: P4 und VP: **P5**, P6
AP 3.5.2	x						x		x			x	TP: P4 und VP: **P5**, P6
AP 3.5.3	x		x						x			x	VP: **P5**
AP 3.6.1			x	x	x		x	x		x	x	x	TP: P1, P2, P3, P4 und VP: **P6**
AP 3.6.2			x	x	x			x			x	x	TP: P1, P2 und VP: **P6**, P7
AP 3.6.3			x	x	x	x	x	x	x		x	x	TP: P1, P2 und VP: **P6**, P7
AP 3.6.4			x	x	x			x		x	x	x	TP: P1, P2, P3, P4 und VP: **P6**
AP 3.6.5				x	x							x	VP: **P6**, P7
AP 3.6.6				x	x							x	TP: P4 und VP: **P6**
AP 3.6.7	x		x			x	x		x			x	TP: P4 und VP: **P6**
AP 3.7.1			x	x	x	x	x	x			x	x	TP: P1, P2, P4 und VP: **P7**
AP 3.7.2			x	x	x	x	x	x			x	x	TP: P1, P2, P4 und VP: **P7**
AP 3.7.3		x	x	x	x	x	x	x			x	x	TP: P1, P2, P4 und VP: **P7**
IntA 4.1													
IntA 4.2													
IntA 4.3													
IntA 4.4													
IntA 4.5													

Legende:		
	x	Vernetzung zum AP
	x	Bearbeiter des AP
		Vernetzungspartner bei den integrierenden Aufgabenstellungen
	IntA	Integrierende Aufgabenstellung
	TP	Transversalprojekt
	VP	Vertikalprojekt

* EMAUG IBL inzwischen CAU Institut für Philosophie und Ethik der Umwelt

4.1 Performance und radiologische Konsequenz

Arbeiten zur Performance eines Endlagers beinhalten gleichermaßen technische und soziale Aspekte. Politische und normative Regelungen zu Auslegungsrichtlinien berücksichtigen gesellschaftliches Sicherheitsbedürfnis, müssen sich aber gleichzeitig an den naturwissenschaftlich-technisch sinnvollen Randbedingungen orientieren.

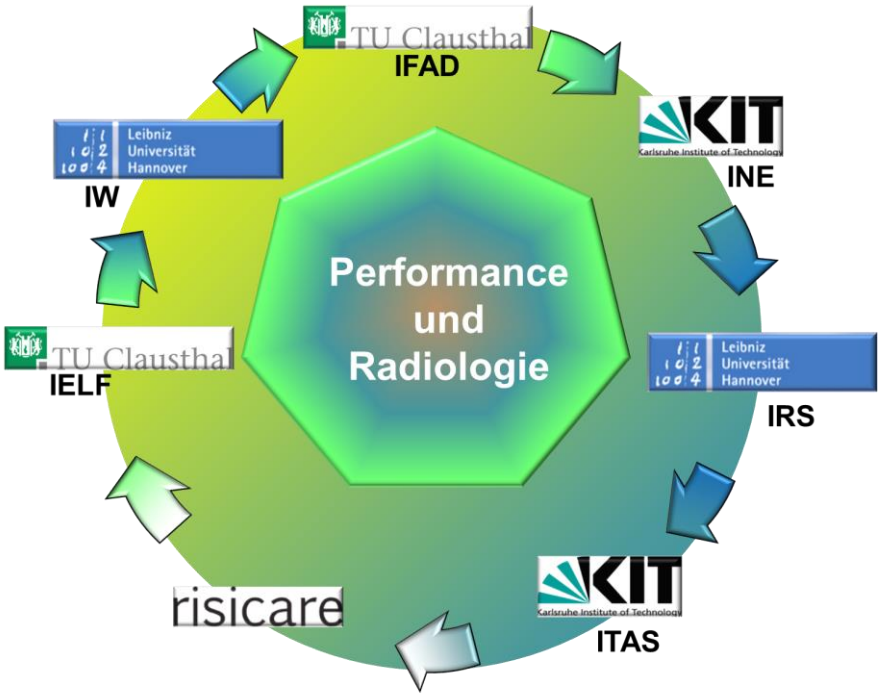

Abb. 2 Vernetzung der Partner zur integrierenden Aufgabenstellung „Performance und Radiologie“

Daher sind in dieser eher technischen Aufgabe sowohl in der Entscheidungsphase als auch in der Beurteilung soziale Aspekte zu berücksichtigen (ITAS, risicare), während die Auslegung über Definition der Lagermöglichkeiten (IELF), daraus folgender Anforderungen an Behälter (IW), bergbauliche Anforderungen (IFAD), Beurteilung von thermodynamischen Gesichtspunkten im Störfall (INE) und radiologischer Konsequenzen - also möglichen Freisetzungen und Dosisverteilungsberechnungen - für die zukünftige Bevölkerung (IRS) reicht. Die Beurteilung der Zumutbarkeit und Generationengerechtigkeit berührt neben politischen auch rechtliche und ethische Gesichtspunkte.

4.2 Governance- und Konfliktanalyse in nationaler und internationaler Perspektive

Sowohl die Entsorgungskonzepte als auch die gesellschaftspolitische Herangehensweise unterscheiden sich stark in verschiedenen Staaten. Eine Beurteilung muss technische und sozialwissenschaftliche Aspekte beinhalten. Die technischen Optionen werden zum einen durch die jeweils zur Verfügung stehenden geologischen Formationen bedingt (technische Beurteilung: INE), zum anderen aber auch von der (politischen) Entscheidung, ob eine dauerhafte Entsorgung als Abfall oder eine Lagerung zur gegebenenfalls in Zukunft sinnvollen Wiederverwertung gewählt wird (Option Oberflächenlagerung: iBMB). Die Beurteilung der verschiedenen Ansätze in Bezug auf ethische und rechtliche Rahmenbedingungen erfolgt durch IBL bzw. IRW, in Bezug auf Governance durch ITAS und FFU.

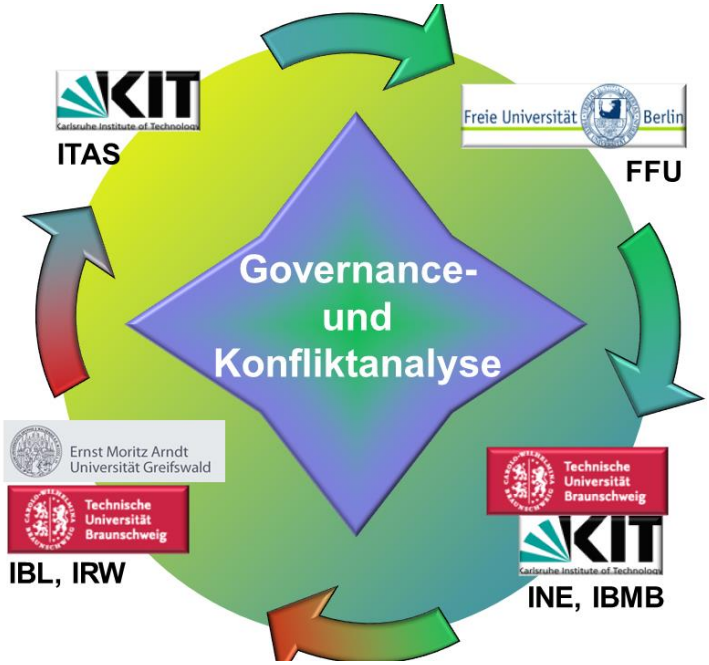

Abb. 3 Vernetzung der Partner zur integrierenden Aufgabenstellung „Governance- und Konfliktanalyse in nationaler und internationaler Perspektive“

4.3 Sicherheit und Risikowahrnehmung

Da die Multiperspektivität auf die vorhandenen Risiken bei der nuklearen Entsorgung eines der Kernprobleme bei der gesellschaftlichen Auseinandersetzung ist, besitzt die Kommunikation über Belastungen, potentielle Risiken und die weit

auseinanderliegenden Wahrnehmungen dazu für die Forschungsplattform einen besonderen Stellenwert. Sie thematisiert deshalb die unterschiedlichen Sichtweisen und ihre Eigenlogiken unter den Forschungspartnern und erläutert das eigene Vorgehen gegenüber der interessierten Öffentlichkeit. Dies geschieht in der Absicht, die klassischen Konzepte zur Ermittlung, Dokumentation und verfahrensbezogen angepassten Prognose/Überprüfung erreichbarer Sicherheit in ihren Möglichkeiten und Grenzen zu erläutern. Die Vermittlung zwischen den unterschiedlichen Sicherheitserwartungen, die auf einer offenen Analyse der verschiedenen Erwartungshorizonte aufbaut, ist dabei eine unverzichtbare Grundlage, um Vorschläge unterbreiten zu können, die die Chance auf breite Zustimmung besitzen. Die Integration der Forschungserfahrungen der einzelnen Forschungsteams zu diesem Feld ist Teil des interdisziplinären Vorhabens.

Die Veranstaltungen für die interessierte Öffentlichkeit spielen dabei ebenso eine besondere Rolle, wie eines der Fokusgruppen-Experimente, das von ITAS durchgeführt wird.

Abb. 4 Vernetzung der Partner zur integrierenden Aufgabenstellung „Sicherheit und Risikowahrnehmung“

4.4 Monitoring

Insbesondere bei der Tiefenlagerung mit der Option der Rückholung ist eine Langzeitüberwachung der ordnungsgemäßen Funktion des Lagers notwendige Voraussetzung als Entscheidungsgrundlage für handelndes Einschreiten. Bei der Oberflächenlagerung ist eine Überwachung naturgemäß einfach und vergleichbar mit etablierten Praktiken zur Überwachung kerntechnischer Anlagen, erstreckt sich allerdings über längere Zeiträume und erfordert daher eine langfristige institutionelle und finanzielle Absicherung. Bei der tiefengeologischen Endlagerung ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit werden Optionen zur Überwachung im Lager selbst zumindest diskutiert, eine Umgebungsüberwachung der Oberfläche ist höchstwahrscheinlich für einige Generationen nach Schließung einzuplanen. In jedem dieser Fälle beinhaltet diese Aufgabe technische Vorkehrungen sowie naturwissenschaftlich basierte Auswertung und Interpretation der Ergebnisse. Die Entscheidung über gegebenenfalls nötige Reaktionen auf Abweichungen von der Auslegung bedarf aber gleichzeitig politischer, gesellschaftswissenschaftlicher und ethischer Betrachtungen. Diese und gleichfalls normative Ansätze werden auch schon bei der Festlegung von Art und Umfang der Überwachung benötigt. Daher ist diese Thematik sowohl für die technischen als auch die sozialwissenschaftlichen Partner ein zentraler Gesichtspunkt.

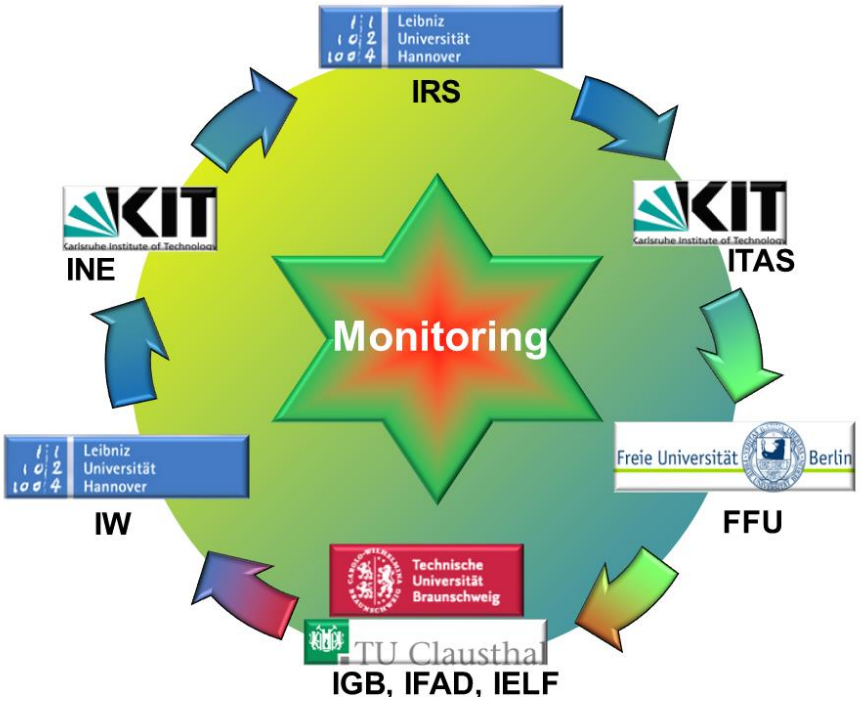

Abb. 5 Vernetzung der Partner zur integrierenden Aufgabenstellung „Monitoring“

Art und Umfang des Monitorings müssen neben den technischen Erfordernissen auch das Sicherheitsbedürfnis und Risikoempfinden sowie normative Anforderungen berücksichtigen. Daher stehen am Anfang der Kette sowohl das FFU als auch das IGB (Engineering geotechnischer Schutzsysteme) sowie IELF und IFAD (Datenerhebung für Tiefenlager). Hieraus ergeben sich Konsequenzen für die Auslegung von Behältern (IW), die wiederum entscheidend für Quelltermberechnungen und weitere Ausbreitungsrechnungen sind (INE). Abschätzung möglicher Radionuklidausträge und daraus folgender erhöhter Strahlenbelastung an der Oberfläche (IRS) müssen als Entscheidungsgrundlage für politisches und dann (ITAS, FFU) technisches Handeln dienen, womit sich der Kreis schließt.

4.5 Außenkommunikation

Die in Kapitel 2.6.2 dargestellten Kommunikationsaufgaben werden im Rahmen des Transversalprojekts „Synthese, Koordination und Kommunikation (Sprecherprojekt)“, aber auch von IRS und ITAS wahrgenommen.

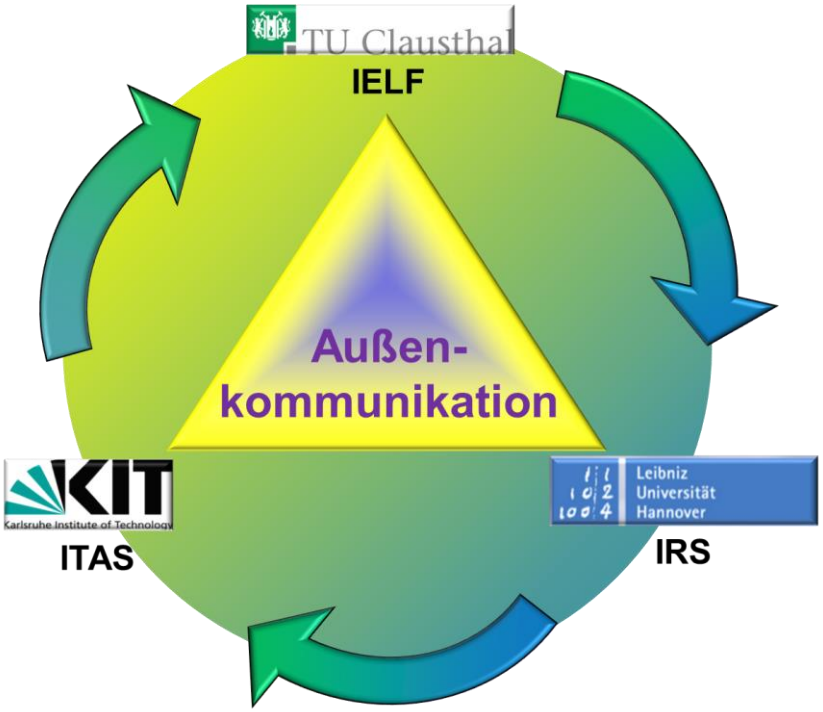

Abb. 6 Vernetzung der Partner zur integrierenden Aufgabenstellung „Außenkommunikation“

Anhang: Interdisziplinäre Untersuchung, Bewertung und Umsetzung von Entsorgungsstrategien durch internationale und nationale Organisationen

1 Internationale Atomenergieorganisation IAEA / IAEO

Die Organisation versteht sich als Förderer der friedlichen Nutzung der Kernenergie: „The IAEA is the world's center of cooperation in the nuclear field. It was set up as the world´s "Atoms for Peace" organization in 1957 within the United Nations family. The Agency works with its Member States and multiple partners worldwide to promote safe, secure and peaceful nuclear technologies.“ (http://iaea.org/About/about-iaea.html).

Vorherrschendes Verständnis ist, dass die Notwendigkeit einer Entsorgung (ohne Intention, aber gegebenenfalls mit der Möglichkeit der Rückholung) radioaktiver Reststoffe besteht. Hiervon unberührt sind solche Stoffe, die nicht als Abfall / Reststoff deklariert sind. Abtrennung und Transmutation wird – in Zusammenhang mit fortgeschrittenen Brennstoffkreisläufen – als integraler Bestandteil der friedlichen Nutzung der Kernenergie gesehen.[17] Entsprechend der IAEA-Sicherheitsstandards ist ein gestufter Ansatz zur Entsorgung je nach Abfallkategorie vorgesehen (Abb. 7).

Im Jahr 2003 hat die IAEA das Ergebnis einer Studie zur langzeitigen Zwischenlagerung veröffentlicht.[18] Es wird geschlussfolgert, dass Zwischenlagerung nur für begrenzte Zeiträume als sichere Lösung anzusehen ist:

„… for the types of radioactive wastes considered here — wastes that remain hazardous for thousands of years — perpetual storage is not considered to be either feasible or acceptable.“

[17] Advanced Nuclear Fuels and Fuel Cycles. Minimization Environmental Impacts Associated with Partitioning and Transmutation.
http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical_Areas/NFC/advanced-fuel-cycles-01-01.html

[18] The Long Term Storage of Radioactive Waste: Safety and Sustainability. A Position Paper of International Experts. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/LTS-RW_web.pdf

Vom 29. November bis zum 1. Dezember fand ein IAEA-Workshop zur Rolle von Zwischen- und Endlagerung statt.[19] Die Veröffentlichung der Ergebnisse steht noch aus.

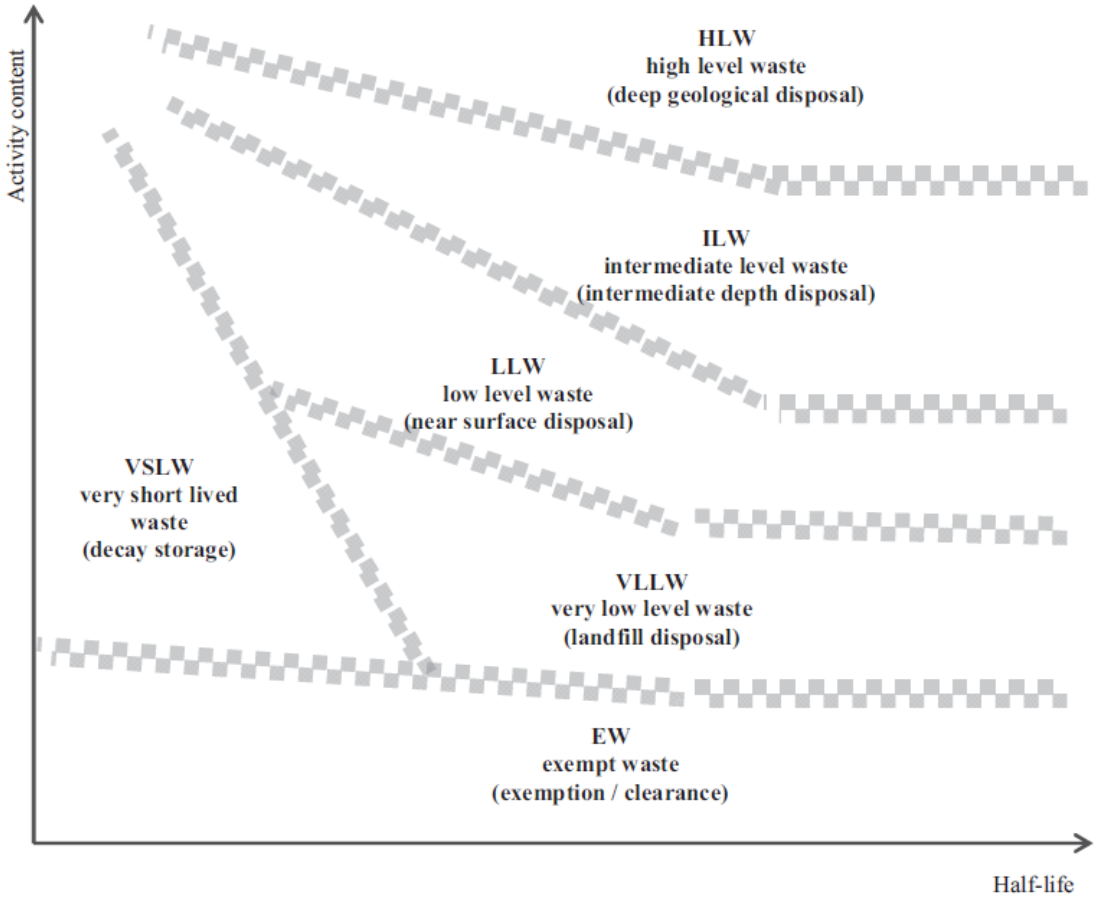

Abb. 7 Abfallkategorien und Entsorgungsoptionen[20]

[19] International Workshop on High Level Radioactive Waste and Spent Fuel Management — Storage and Disposal. http://www-ns.iaea.org/tech-areas/waste-safety/workshops/stockholm-int-wshop-2011.asp?s=10&l=80

[20] aus: Classification of Radioactive Waste General Safety Guide. Series No. GSG-1, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1419_web.pdf

2 Kernenergieorganisation der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD/NEA)

Ähnlich wie die IAEA versteht sich die NEA als Förderer der friedlichen Nutzung der Kernenergie. Erklärungen ihres Radioactive Waste Management Committee (RWMC) postulieren die Notwendigkeit und technische Umsetzbarkeit der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen:

„A geological disposal system provides a unique level and duration of protection for high-activity, long-lived radioactive waste. … The overwhelming scientific consensus worldwide is that geological disposal is technically feasible."[21]

Dieser Standpunkt wird u.a. durch die Ergebnisse einer Studie zur langzeitigen Zwischenlagerung gestützt.[22] Fragen der Reversibilität, Rückholbarkeit und Rückholung waren und sind Gegenstand von NEA-Projekten. Im jüngsten Projekt dieser Art wurde dargelegt, dass Rückholbarkeit kein absoluter Begriff oder Wert sei, sondern dass die diesbezüglichen Verhältnisse situations- und zeitabhängig seien (Abb. 8).[23]

Die Arbeiten der OECD/NEA zu diesen Themen sind nicht ausschließlich naturwissenschaftlich-technisch ausgerichtet. Vielmehr beschäftigt sich eine „Working Party" des RWMC - das Forum on Stakeholder Confidence (FSC) - mit der „sozialen Dimension" des Abfallmanagements[24] und insbesondere mit Fragen des Dialogs mit der Öffentlichkeit und des Entscheidungsprozesses. Das FSC war auch wesentlich an der Ausgestaltung des jüngsten NEA-Projekts zur Reversibilität und Rückholbarkeit beteiligt.

[21] Jüngste Erklärung: OECD Nuclear Energy Agency Collective Statement on Geological Disposal, http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2008/nea6433-statement.pdf

[22] -The Roles of Storage in the Management of Long-lived Radioactive Waste, http://www.nea.fr/html/rwm/reports/2006/nea6043-storage.pdf

[23] OECD/NEA: The Retrievability and Reversibility (R&R) Project http://www.oecd-nea.org/rwm/rr/

[24] http://www.oecd-nea.org/rwm/fsc/

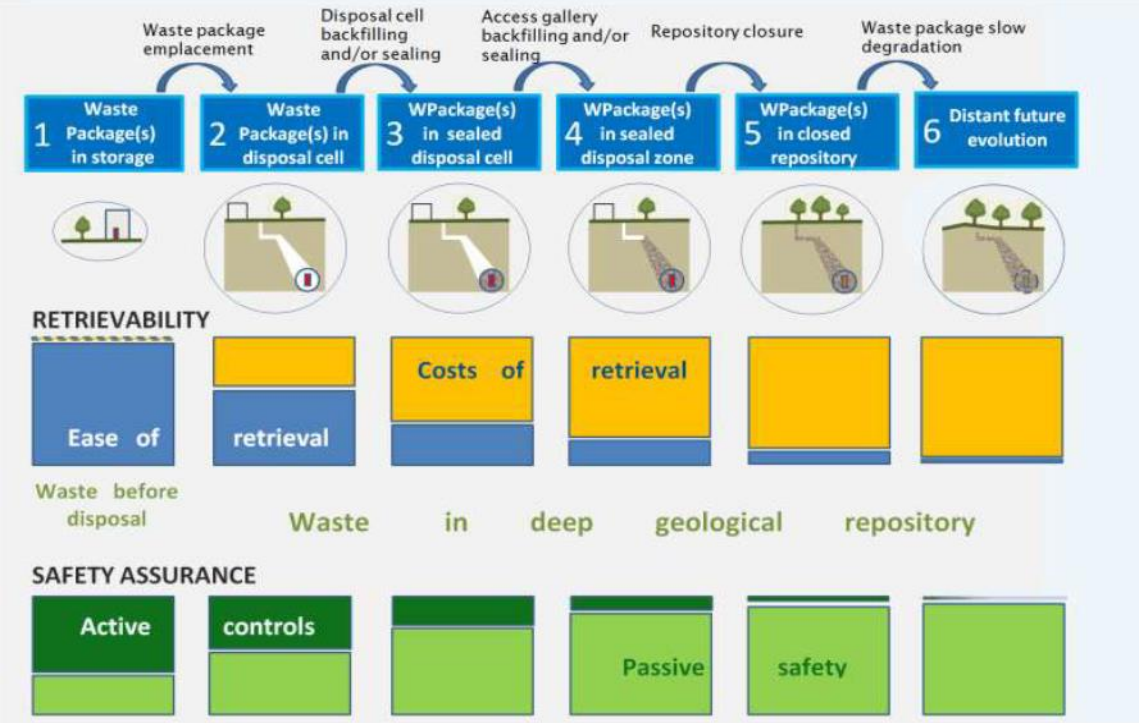

Abb. 8 Phasen der Endlagerung in tiefen Formationen und Grade der Rückholbarkeit[17]

Abtrennung und Transmutation ist ein wichtiges Arbeitsgebiet der OECD/NEA, das hauptsächlich in Zusammenhang mit der Entwicklung fortgeschrittener Reaktoren gesehen wird.[25] Auswirkungen von Abtrennung und Transmutation auf die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen war Gegenstand einer Reihe von Projekten, die übereinstimmend zur Schlussfolgerung kamen, dass Abtrennung und Transmutation signifikante Folgen hinsichtlich des Platzbedarfs im Endlager, der Abfallströme und notwendiger Zwischenlagerzeiten, jedoch kaum hinsichtlich der Langzeitsicherheit von Endlagern haben würden.[26]

[25] s. z.B. Actinide and Fission Product Partitioning & Transmutation. Eighth Information Exchange Meeting. http://www.oecd-nea.org/pt/docs/iem/lasvegas04/

[26] OECD/NEA: Potential Benefits and Impacts of Advanced Nuclear Fuel Cycles with Actinide P&T. http://www.oecd-nea.org/science/reports/2011/6894-benefits-impacts-advanced-fuel.pdf

3 Europäische Union

In der kürzlich veröffentlichten EU-Direktive zum Umgang mit verbrauchten Kernbrennstoffen und radioaktiven Abfällen wird postuliert:

„It is broadly accepted at the technical level that, at this time, deep geological disposal represents the safest and most sustainable option as the end point of the management of high-level waste and spent fuel considered as waste."[27]

Entsorgungsstrategien wurden in einem interdisziplinären Forschungsvorhaben im Hinblick auf technische, ethisch-moralische und gesellschaftliche Aspekte zusammengestellt, eingeordnet und verglichen.[28] Die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen[29] wie auch Verfahren zur Abtrennung und Transmutation sind Gegenstand zahlreicher EU-geförderter Forschungsvorhaben. In einigen Vorhaben (zum Beispiel in RISCOM II[30]) wurden auch sozialwissenschaftliche Fragen behandelt.

Die Vision der kürzlich gegründeten Technologieplattform „Implementing Geological Disposal"[31] ist die Betriebsbereitschaft mindestens eines Endlagers in einer tiefen geologischen Formation bis zum Jahr 2025.

4 Nationale Entsorgungsprogramme

In vielen Ländern, in denen Kernenergie erzeugt wird, wird die Einlagerung hochaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen favorisiert und auch mehr oder minder aktiv vorangetrieben. Vorreiter sind Finnland, Frankreich und Schweden, für die eine technische Umsetzung für Ende diesen oder Anfang / Mitte des nächsten Jahrzehnts abzusehen ist. Maßnahmen zur Rückholbarkeit werden in diesen und anderen Ländern

---

[27] COUNCIL DIRECTIVE 2011/70/EURATOM of 19 July 2011 establishing a Community framework for the responsible and safe management of spent fuel and radioactive waste. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:199:0048:0056:EN:PDF

[28] The comparison of alternative waste management strategies for long-lived radioactive wastes (COMPAS), ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp5-euratom/docs/compas_projrep_en.pdf

[29] Geological Disposal of Radioactive Waste: Moving Towards Implementation. http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_2009_10_geol_disposal.pdf

[30] ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp6-euratom/docs/euradwaste04pro_4-westerlind_en.pdf

[31] http://www.igdtp.eu/

in unterschiedlichem Maße gefordert und umgesetzt. Eine Reihe von Ländern (zum Beispiel Spanien, die Niederlande und Brasilien) setzen auf eine längerfristige (aber nicht unbefristete) Zwischenlagerung.

In einer Reihe der Länder, die heute Varianten der Einlagerung hochaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen favorisieren, waren in den letzten Jahrzehnten massive Rückschläge des Entsorgungsprogramms, häufig in Verbindung mit fehlender Akzeptanz für konkrete Endlagerstandorte, zu verzeichnen. In diesen Ländern wurden daraufhin (nochmalig) verschiedene Entsorgungsoptionen betrachtet und bewertet. In den meisten Fällen spielten in diese Bewertungen ethisch-moralische, gesellschaftliche und rechtliche Aspekte sowie die Einbeziehung von Nicht-Spezialisten (Nicht-Technikern) eine herausragende Rolle.

Im Jahr 1991 wurde in Frankreich per Gesetz die Etablierung dreier umfangreicher Forschungsprogramme (zur Einlagerung in tiefen geologischen Formationen, zur langfristigen Zwischenlagerung und zu Abtrennung und Transmutation) über den Zeitraum von fünfzehn Jahren verfügt.[32] Nach Ablauf der fünfzehnjährigen Frist bildeten die Ergebnisse der Programme die Basis für eine erneute Gesetzgebung im Jahr 2006[33], in der u.a. Festlegungen zu einer reversiblen Einlagerung in tiefe geologische Formationen und zur Erstellung eines Entsorgungsplans getroffen wurden. Die Einlagerung in tiefe geologische Formationen war damit als Endpunkt der Strategie definiert, die Forschung zur langfristigen Zwischenlagerung und zu Abtrennung und Transmutation wird im Hinblick auf das langfristige französische Kernenergieprogramm weitergeführt.

In Kanada kommentierte der “Nuclear Fuel Waste Management and Disposal Concept Environmental Assessment Panel” (bekannt als „Seaborn Panel“) das von Atomic Energy of Canada Limited (AECL) entwickelte kanadische Endlagerkonzept wie folgt:
„– From a technical perspective, safety of the AECL concept has been on balance adequately demonstrated for a conceptual stage of development, but from a social

[32] République française 1991: LOI n°91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs ("Loi Bataille"), Journal official du 1er janvier 1992. http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000356548&fastPos=1&fastReqId=1600876769&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte

[33] République française 2006: Loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, Journal officiel du 29 juin 2006. http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000240700&fastPos=1&fastReqId=750078383&categorieLien=cid&oldAction=rechTexte

perspective, it has not.

– As it stands, the AECL concept for deep geological disposal has not been demonstrated to have broad public support. The concept in its current form does not have the required level of acceptability to be adopted as Canada's approach for managing nuclear fuel wastes."[34]

Daraufhin wurden von der danach etablierten National Waste Management Organization (NWMO) verschiedene Entsorgungskonzeptionen betrachtet und interdisziplinär und unter Einbeziehung von Meinungsbildern bewertet. 2006 wurde auf der Basis dieser Untersuchungen das sogenannte „Adaptive Phased Management" vorgeschlagen und mit seiner Umsetzung begonnen. Zielpunkt des „Adaptive Phased Managements" ist die Einlagerung in einer tiefen geologischen Formation (Abb. 9).

[34] Canadian Environmental Assessment Agency CEAA 1998: Report of the Nuclear Fuel Waste Management and Disposal Concept Environmental Assessment Panel. http://www.ceaa.gc.ca/010/0001/0001/0012/0001/report_e.htm

Abb. 9 Kanadisches „Adaptive Phased Management“[35]

In einem umfassenden interdisziplinären Evaluierungsprozess hat sich Anfang dieses Jahrtausends das aus Fachleuten und interessierten Nicht-Spezialisten

[35] NWMO Final Study: Choosing a Way Forward, http://www.nwmo.ca/uploads_managed/MediaFiles/341_NWMO_Final_Study_Nov_2005_E.pdf

zusammengesetzte britische Committee on Radioactive Waste Management: Managing our Radioactive Waste (CoRWM) mit einer Vielzahl von Entsorgungsoptionen befasst und diese ethisch-moralisch, nach Akzeptanzgesichtspunkten rechtlich und technisch bewertet. Auch hier mündete die Bewertung 2006 in der Empfehlung zur Einlagerung in tiefe geologische Formationen.[36]

In der Schweiz wurden verschiedene Entsorgungsoptionen von der Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA) zusammengestellt und unter Berücksichtigung technischer und gesellschaftlicher Aspekte bewertet.[37] Auf den Ergebnissen basierend erfolgte die Entscheidung für die geologische Tiefenlagerung, die Anforderungen bezüglich Rückholbarkeit und einer längeren Beobachtungsphase beinhaltet und in der schweizerischen Kernenergiegesetzgebung verankert wurde. Die Standortsuche für geologische Tiefenlager und die Öffentlichkeitsbeteiligung sind im "Sachplan geologische Tiefenlager"[38] geregelt, der derzeit realisiert wird.

Nach dem Scheitern des Yucca-Mountain-Projekts wurde in den USA ein „Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future (BRC)" gegründet, die Mitte 2011 aus technischen, gesellschaftspolitischen und rechtlichen Erwägungen heraus die Verfolgung der Einlagerung in tiefen geologischen Formationen, verbunden mit Maßnahmen zur langfristigen Zwischenlagerung, empfahl[39].

5 Deutschland

Nachdem erste Versuche einer Einbindung der Öffentlichkeit in Zusammenhang mit der Auswahl des Standortes Gorleben für ein nukleares Entsorgungszentrum („Gorleben-Hearing 1979" [40]) fehlgeschlagen waren, erfolgte später eine ernsthafte

---

[36] Committee on Radioactive Waste Management: Managing our Radioactive Waste. CoRWM's Recommendations to the Government, http://corwm.decc.gov.uk/assets/corwm/post-nov%2007%20doc%20store/documents/reports%20to%20government/nov%20and%20dec%202007/700%20-%20corwm%20july%202006%20recommendations%20to%20government.pdf

[37] Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle. Schlussbericht. http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_182456219.pdf&endung=Entsorgungskonzepte%20f%FCr%20radioaktive%20Abf%E4lle,%20Schlussbericht

[38] http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/index.html?lang=de

[39] http://www.brc.gov/sites/default/files/documents/brc_draft_report_29jul2011_0.pdf

[40] http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/endlagerung-hochradioaktiver-abfaelle-endlagerprojekt-gorleben,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf

Zusammenarbeit von Natur-, Technik- und Sozialwissenschaftlern vor allem im Rahmen des „Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte“ (AKEnd), dessen Arbeit im Auftrag des BMU zu einem Vorschlag hinsichtlich eines Standortauswahlverfahrens und dort anzuwendender geo- und sozialwissenschaftlicher Kriterien führte.[41]

„Als wichtige Vorgabe für die Arbeit des AkEnd wurde vom BMU festgelegt, dass in Deutschland alle Arten von radioaktiven Abfällen in tiefen geologischen Formationen endgelagert werden sollen.“

Im AKEnd wurde jedoch auch eine eigene Bewertung vorgenommen:

„… sieht der AkEnd für eine langfristig sichere Entsorgung der radioaktiven Abfälle keine Alternative zur Endlagerung in tiefen geologischen Formationen.“

Nach dem Endlagersymposium 2008[42] wurde das durch das ITAS moderierte „Forum Endlagerdialog“ eingerichtet[43], das jedoch seit 2010 mit der Einstellung der Beteiligung seitens der Vertreter von Bürgerinitiativen und jener der Moderation durch das ITAS faktisch nicht mehr existiert.

Im Nachgang zur Wiederaufnahme der untertägigen Erkundung des Standortes Gorleben und zum Arbeitsbeginn der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) wird seitens des BMU seit 2011 der Versuch unternommen, zu einem „Gorleben-Dialog“ zu kommen.[44]

Endlagersymposium, Forum Endlagerdialog sowie Gorleben-Dialog gingen bzw. gehen von der Einlagerung in tiefen geologischen Formationen als zu bevorzugende Entsorgungsoption aus. Im Rahmen des Endlagersymposiums und des Forums Endlagerdialog wurden auch Fragen der Rückholbarkeit diskutiert.

In jüngerer Zeit haben sich insbesondere die „Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung“ sowie die Entsorgungskommission des BMU auf disziplinärer

---

[41] http://www.bfs.de/de/endlager/faq/langfassung_abschlussbericht_akend.pdf

[42] http://www.bmu.de/atomenergie_ver_und_entsorgung/endlagerung/endlagersymposium/doc/42734.php

[43] http://www.forum-endlager-dialog.de/

[44] http://gorleben-dialog.de/allgemein/aktuell/2.php

Grundlage mit Fragen der Wahl der Entsorgungsoption und insbesondere mit dem Problemkreis der Rückholbarkeit befasst (vgl. Kap. 2). Eine interdisziplinäre Arbeit im Rahmen eines Projektes der Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen[45] präferiert die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen, diskutiert Optionen der Rückholbarkeit und daraus möglicherweise erwachsende Zielkonflikte, ohne diesbezüglich zu einer abschließenden Wertung zu kommen, und empfiehlt einen Ansatz zur Standortauswahl mit Elementen des AKEnd-Vorschlags unter Einbeziehung des Standorts Gorleben.

[45] C. Streffer, C. F. Gethmann, G. Kamp, W. Kröger, E. Rehbinder, O. Renn, K.-J. Röhlig: Radioactive Waste. Technical and Normative Aspects of its Disposal. Ethics of Science and Technology Assessment, Volume 38. Springer 2011