

2. September 2004

# Stand und Perspektiven der Forschung und Entwicklung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle



**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

**Auftragnehmer:**

Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG, Forchstrasse 395, 8029 Zürich

**Autoren:**

Alois Keel

Andreas Schönenberger

**Begleitgruppe:**

Michael Aebersold, Bundesamt für Energie BFE

Stefan Jordi, Bundesamt für Energie BFE

Titelbild: Quelle: Comet

Auflage: 300

Weitere Informationen: Stefan Jordi, Tel. 031 322 57 53, stefan.jordi@bfe.admin.ch

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE erstellt. Für den Inhalt ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

**Bundesamt für Energie BFE**

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.admin.ch/bfe

## Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>1</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>1. Fragestellung</b>	<b>5</b>
<b>2. Vorgehen und Begriffsdefinitionen</b>	<b>6</b>
2.1. Analyse der gesetzlichen Grundlagen, Internet- und Literaturrecherche	6
2.2. Expertengespräche	6
2.3. Begriffsdefinitionen	9
<b>3. Rechtliche Rahmenbedingungen in der Schweiz und auf EU- Ebene</b>	<b>12</b>
3.1. Übereinkommen über die Sicherheit der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle	12
3.2. Neues Kernenergiegesetz (KEG) und Vernehmlassungsentwurf Kernenergieverordnung (KEV; April 2004)	13
3.3. Gescheiterte EU-Richtlinienentwürfe	14
<b>4. Relevante Organisationen</b>	<b>17</b>
4.1. Internationale Organisationen	17
4.2. Schweden	19
4.3. Finnland	20
4.4. USA	20
4.5. Schweiz	21
<b>5. Übersicht über die internationalen Forschungsaktivitäten</b>	<b>24</b>
5.1. Vorbemerkungen	24
5.2. Lagerung in geologischen Schichten: Beurteilung des Forschungsstandes durch die NEA	25
5.3. Internationale Konferenz über Probleme und Trends in der Entsorgung radioaktiver Abfälle (2002)	26
5.4. Geological Repositories: Political and Technical Progress (2003)	27
5.5. Euratom (6. Forschungsrahmenprogramm der EU)	28
5.6. Schweden	33
5.7. Finnland	34
5.8. Deutschland	35
<b>6. Forschungsaktivitäten Schweiz</b>	<b>37</b>
6.1. Nagra, insbesondere Entsorgungsnachweis 2002, sowie GNW	37

6.2.	PSI/LES (Paul-Scherrer-Institut, Labor für Endlagersicherheit)	41
6.3.	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen	42
6.4.	Weitere Träger der Endlagerforschung	44
6.5.	EURATOM-Projekte mit Schweizer Beteiligung	45
<b>7.</b>	<b>Forschungspolitische Würdigung</b>	<b>50</b>
7.1.	Internationale Einigkeit über das Lagerkonzept	50
7.2.	Stand des Wissens in der internationalen naturwissenschaftlich-technischen Entsorgungsforschung	52
7.3.	Forschungsausrichtung und Forschungsstand in der Schweiz	53
7.4.	Wissensmanagement, Erhaltung des Wissens	54
7.5.	Zweckorientierung der Entsorgungsforschung	55
7.6.	Geisteswissenschaftliche Entsorgungsforschung	57
7.7.	Festlegung der inhaltlichen Ausrichtung der Forschung	58
7.8.	Internationale Vernetzung der Forschenden	60
7.9.	Information und Kommunikation	61
<b>8.</b>	<b>Forschungsbedarf</b>	<b>63</b>
8.1.	Naturwissenschaftlich-technische Fragen	63
8.2.	Geisteswissenschaftliche Forschung	66
8.3.	Inter- und transdisziplinäre Forschung	67
8.4.	Zuständigkeiten in und Finanzierung der Entsorgungsforschung	68
<b>9.</b>	<b>Quellen</b>	<b>70</b>
<b>10.</b>	<b>Auszug aus dem KEG (Regelung der Entsorgung)</b>	<b>74</b>
<b>11.</b>	<b>Abkürzungen</b>	<b>79</b>

**Tabellen**

Tabelle 1	Befragte Experten (1. Expertenrunde)	6
Tabelle 2	Interviewleitfaden (1. Expertenrunde)	7
Tabelle 3	Befragte Experten (2. Expertenrunde)	8
Tabelle 4	Interviewleitfaden (2. Expertenrunde)	9
Tabelle 5	Entsorgungsstrategien Finnland, Frankreich, Deutschland, Schweden	25
Tabelle 6	EURATOM-Forschung, 6. Forschungsrahmenprogramm, Bereich Entsorgung radioaktiver Abfälle	33
Tabelle 7	EURATOM-Forschung, 5. Forschungsrahmenprogramm, Projekte mit Schweizer Beteiligung	49
Tabelle 8	EURATOM-Forschung, 6. Forschungsrahmenprogramm, Bereich Entsorgung radioaktiver Abfälle, Projekte mit Schweizer Beteiligung	49
Tabelle 9	Vorgeschlagene Entsorgungskonzepte seit 1949	51



## Vorwort

Der Studie "Stand und Perspektiven der F+E zur Entsorgung radioaktiver Abfälle" liegt folgende Fragestellung zu Grunde: Was müssen wir – in der Schweiz – (noch) wissen, um radioaktive Abfälle entsorgen zu können? Auf den ersten Blick scheint klar zu sein, was mit dieser Frage gemeint ist. Die Abfälle sind so zu entsorgen, dass der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist (Art. 30 Abs. 3 Kernenergiegesetz). Es muss insbesondere Vorsorge getroffen werden gegen eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe sowie gegen eine unzulässige Bestrahlung von Personen im Normalbetrieb und bei Störfällen (Art. 4 Abs. 1 Kernenergiegesetz).

Der nicht-technische Aspekt der Frage wird erst auf den zweiten Blick deutlich. Dies hängt unter anderem mit der Auslegungsbedürftigkeit der Begriffe "sichere Entsorgung" beziehungsweise "unzulässige Freisetzung / unzulässige Bestrahlung" zusammen. Zur Auslegung berufen sind Fachleute in Naturwissenschaften und Technik ("Sicherheit ist eine Frage der Geologie und der Technik"), in erster Linie jedoch alle Bürgerinnen und Bürger der Schweiz ("Ob ich mich sicher fühle, entscheide ich"). Entsorgung ist aber nicht nur eine Frage der Sicherheit, sondern geht weit darüber hinaus: Wer radioaktive Abfälle entsorgen will, muss vielfältige individuelle und gesellschaftliche Ansprüche und Bedürfnisse beachten (materielle Sicherheit, Gerechtigkeit, Fairness, Anerkennung, Gruppenzugehörigkeit etc.).

Das naturwissenschaftlich-technische Wissen ist organisiert, die Verfahren zur Gewinnung und Dokumentation des Wissens folgen den in der Wissenschaft etablierten Regeln. Die Ergebnisse sind nachvollziehbar. Im Bereich der Entsorgung wurden bereits Bibliotheken zu naturwissenschaftlich-technischen Themen gefüllt. Die individuellen und gesellschaftlichen Ansprüche an die Entsorgung der radioaktiven Abfälle hingegen lassen sich viel weniger gut fassen, die Forschungsergebnisse dazu füllen auch keine Bibliotheken. Die Ansprüche variieren zwischen verschiedenen Gruppen der Gesellschaft und verändern sich über die Zeit, was die Nachvollziehbarkeit von Forschungsarbeiten erschwert oder verunmöglicht.

Die vorliegende Studie unternimmt den Versuch, "beide Seiten", welche in qualitativer und quantitativer Hinsicht sehr unterschiedlich sind, in Bezug auf den Forschungsbedarf zu Wort kommen zu lassen. Während die naturwissenschaftlich-technische Seite sehr gut organisiert ist und Eigenschaften einer geschlossenen Gesellschaft zeigt, ist die geisteswissenschaftliche Entsorgungsforschung im Aufbau und entsprechend wenig fassbar.



## Zusammenfassung

Stand und Merkmale der Entsorgungsforschung

Das Konzept der Lagerung in tiefen geologischen Schichten ist nach heutigem Kenntnisstand die beste Option für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Es ist selbstverständlich, dass die geologische Tiefenlagerung nur dann die beste Lösung ist, wenn sie auch bestmöglich ausgestaltet und umgesetzt wird. Hier liegen die Schwerpunkte der naturwissenschaftlich-technischen Entsorgungsforschung in der Schweiz. Diese starke Orientierung auf die geologische Tiefenlagerung hat den Vorteil, dass die Forschungsmittel effizient eingesetzt werden, birgt aber gleichzeitig eine gewisse Gefahr, dass Forschung, welche nicht direkt der als am zweckmässigsten beurteilten Variante dient, vernachlässigt wird. Die geisteswissenschaftliche Forschung, welche weniger zweckorientiert funktioniert, ist innerhalb der Entsorgungsforschung in Bezug auf die finanziellen und personellen Ressourcen vergleichsweise unbedeutend.

Die Abfallverursacher sind für die Entsorgung und damit auch primär für die inhaltliche Ausrichtung der Entsorgungsforschung verantwortlich. Der Einfluss anderer Akteure auf die inhaltliche Ausrichtung ist gering. Der Stand des naturwissenschaftlich-technischen "Entsorgungswissens" in der internationalen Forschung ist nach Einschätzung der befragten Experten heute hoch bis sehr hoch. Der Stand der Forschung in der Schweiz entspricht dem internationalen Stand des Wissens und der Technik, zum Teil werden in der Schweiz Standards gesetzt. Die Beurteilung, ob der Forschungsstand ausreichend ist, ist jedoch eine Frage, welche nicht oder nur zum Teil von den Entsorgungsforschern beantwortet werden kann. Was sicher genug ist, wird von der "Politik" festgelegt – und wieder geändert.

Empfehlungen zum Forschungsbedarf, zu den Strukturen und den finanziellen Mitteln

- Die Diskussion um die inhaltliche Ausrichtung der geologischen Tiefenlagerung läuft und wird – innerhalb der Forschungsgemeinschaft und weniger zwischen Forschungsgemeinschaft und der Gesellschaft – offen ausgetragen. Die vorliegende Studie vermag keinen zusätzlichen Bedarf bei den naturwissenschaftlich-technischen Entsorgungsfragen aufzuzeigen.
- Im Bereich der geisteswissenschaftlichen Entsorgungsforschung gibt es zahlreiche offene Fragen. In einem ersten Schritt ist zusammenzustellen, welche Forschungsarbeiten aus "verwandten" Gebieten für die Entsorgungsforschung relevant sind. In einem zweiten Schritt sind die Fragestellungen zu vertiefen, zu strukturieren und nach ihrer Forschungswürdigkeit zu priorisieren.
- Der inter- und transdisziplinären Entsorgungsforschung ist vermehrt Beachtung zu schenken.
- Bundesinstitutionen – z.B. die Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen oder der Schweizerische Nationalfonds – sollten bei der Koordination der technisch/naturwissenschaftlichen und vor allem der geisteswissenschaftlichen Entsorgungsforschung eine wichtigere Rolle spielen.
- Um eine (vollständige) Abhängigkeit von der durch die Nagra gesteuerten Forschung zu vermeiden, ist sicherzustellen, dass auch die HSK und die Universitäten – in Zusammenarbeit mit der Nagra und in Ergänzung zur Nagra – natur-

wissenschaftlich-technische Entsorgungsforschung betreiben können, welche nicht direkt von der Nagra finanziert wird.

- Für die geisteswissenschaftliche Entsorgungsforschung, welche nicht direkt der Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen dient, hat der Staat die entsprechenden Mittel bereitzustellen (z.B. Nationaler Forschungsschwerpunkt des Schweizerischen Nationalfonds).

## 1. Fragestellung

### Ausgangslage

Die Entsorgung der radioaktiven Abfälle ist für die Zukunft der Kernenergie einer der wichtigsten Einflussfaktoren. Die Vorhaben zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle kommen in der Schweiz – und auch in den meisten anderen Staaten – nur langsam voran. Die vom Bund eingesetzte Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA) hat 2002 gefordert, in der Entsorgungsdiskussion vermehrt sozial- und geisteswissenschaftliche Perspektiven einzubeziehen.<sup>1</sup> Das in der Schweiz mit dem neuen Kernenergiegesetz verfolgte Konzept der kontrollierten geologischen Tiefenlagerung (Rückholbarkeit der Abfälle, langfristige Beobachtungsphase, Verschluss erst nach Abschluss der Beobachtungsphase) bringt neue Aspekte in die Diskussion.

### Zweck dieser Studie

Für das Bundesamt für Energie (BFE) präsentiert sich die Ausgangslage wie folgt (Einladung an B&H zur Offertstellung vom 27.08.03): "Zur Zeit sind das BFE und weitere Kreise daran, eine Strategie zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle in der Schweiz zu erarbeiten. Im Bereich der interdisziplinären und unabhängigen Forschung bestehen noch Lücken." Bei dieser Frage setzt die vorliegende Studie ein, deren Auftrag und Leistungsumfang folgendermassen umschrieben wurden (27.08.03):

- Übersicht über die bestehende Entsorgungsforschung in der Schweiz sowie über bi- und multinationale Forschungsprojekte von schweizerischen Institutionen und Organisationen erstellen und Lücken resp. Handlungsbedarf bezüglich Grundlagenforschung und Umsetzung der geologischen Tiefenlagerung aufzeigen
- Berücksichtigung der wichtigsten Forschungsprojekte von Ländern mit fortgeschrittenen Entsorgungsprogrammen
- Betrachtung von natur- und sozialwissenschaftlichen Aspekten
- Konsultation der wichtigsten Organisationen und Institutionen

Die Studie legt bei den Abfallkategorien die Schwerpunkte auf den hochaktiven Abfällen und den abgebrannten Brennelementen.

---

<sup>1</sup> EKRA (2002): 9.

## 2. Vorgehen und Begriffsdefinitionen

### 2.1. Analyse der gesetzlichen Grundlagen, Internet- und Literaturrecherche

Internet- und  
Literaturrecherche

In einer ersten Phase wurden die Internet-Seiten der Behörden und Organisationen ausgewählter Staaten analysiert, welche Forschung auf dem Gebiet betreiben, sie koordinieren oder unterstützen. Die Behörden und Organisationen und ihre Bedeutung für die vorliegende Studie werden in Kapitel 4 (S. 17) beschrieben. Im Weiteren wurden die gesetzlichen Vorgaben für die Entsorgungsforschung in der Schweiz untersucht (Kap. 3, S. 12).

### 2.2. Expertengespräche

Zwei Expertenrunden

Die Folgerungen und Empfehlungen dieses Projektes stützen sich wesentlich auf Expertengespräche ab. Es fanden zwei Expertenrunden statt, eine vor dem Zwischenbericht vom 6. Februar 2004 und eine vor dem Entwurf des Schlussberichts vom 29. April 2004. Die Experten wurden von Basler & Hofmann vorgeschlagen. Sowohl das BFE als auch die HSK haben an der definitiven Auswahl der befragten Experten mitgewirkt.

Expertengespräche (für  
Zwischenbericht)

Für den Zwischenbericht wurden Gespräche mit folgenden fünf Experten geführt, welche die Aufsichtsbehörde (HSK), den wichtigsten Entsorgungsverantwortlichen (Nagra) und die in der Schweiz wichtigste Endlagerforschungsinstitution (PSI) abdecken.

Datum	Name	Vorname	Titel	Institut/ Arbeitgeber	Funktion	Dauer und Ort des Interviews
03.12.03	Fritschi	Markus	Dr.	Nagra	Bereichsleiter Lagerprojekte, Mitglied der Geschäftsleitung	2 Stunden Nagra
16.01.04	Hadermann	Jörg	Dr. phil., dipl. phys.	PSI	Laborleiter Labor für Endlagersicherheit	2 Stunden PSI
17.12.03	Vigfusson	Johannes	Dr.	HSK	Chef der Sektion Geologische Tiefenlagerung (seit 1.04.04)	2 Stunden HSK
03.12.03	Zuidema	Piet	Dr.	Nagra	Bereichsleiter Abteilung Technik und Wissenschaft, Mitglied der Geschäftsleitung	2 Stunden Nagra
17.12.03	Zurkinden	Auguste	Dr.	HSK	Chef der Abteilung Sicherheit von Transporten und Entsorgung (seit 1.04.04)	2 Stunden HSK

Tabelle 1 Befragte Experten (1. Expertenrunde)

Interviewleitfaden

Die Expertengespräche in der ersten Runde (für Zwischenbericht) wurden anhand des folgenden Leitfadens geführt:

Themenkomplex	Einzelfragen
Konzeptionelle Fragen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beurteilung der Zweckmässigkeit von Lagerkonzepten (z. B. schwach-, mittel- und hochradioaktive Abfälle in verschiedenen Lagern oder in einem Lager?)</li> <li>- Kriterien für die Erarbeitung von Lagerkonzepten (naturwissenschaftlich-technisch, sozialwissenschaftlich)</li> </ul>

Inventar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Welche Arten von Abfällen sind zu entsorgen?</li> <li>- Welche Mengen sind zu entsorgen?</li> <li>- Wie lange werden Abfälle zur Lagerung angenommen?</li> </ul>
Standortsuche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anforderungen an das Verfahren</li> <li>- Kriterien für Standortwahl</li> <li>- Einbezug der Öffentlichkeit (Zeitpunkt, Form, Akteure)</li> <li>- Einbezug der nachfolgenden Generationen</li> </ul>
Sicherheitsanalyse - Standort	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geologische Langzeitstabilität</li> <li>- Wirtsgesteinseigenschaften (Stofftransport, Selbstabdichtungsvermögen, Geochemie, Gasfreisetzung, Bautechnik, Felsmechanik)</li> <li>- Horizontale und vertikale Ausdehnung des Wirtsgesteins</li> <li>- Barrierenwirkung der Nebengesteine</li> <li>- Störeinflüsse</li> <li>- Robustheit gegen Störeinflüsse</li> <li>- Explorierbarkeit</li> <li>- Prognostizierbarkeit</li> <li>- Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen aus verschiedenen Lokalitäten</li> </ul>
Sicherheitsanalyse - Lager	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bautechnik (z.B. Anforderungen an Ausbruchverfahren)</li> <li>- Haltbarkeit der Behälter</li> <li>- Betrieb (Abwärme, Stoff- und Energieflüsse allgemein)</li> <li>- Schutz vor äusseren Einwirkungen (Diebstahl, Sabotage, Wassereinbruch etc.)</li> <li>- Verfüllung</li> <li>- Versiegelung</li> <li>- Selbstverschluss</li> <li>- Kennzeichnung</li> </ul>
Bewilligungsverfahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausschlusskriterien</li> <li>- Abbruchkriterien</li> <li>- Rechtsschutz</li> <li>- Einbezug/Information der Bevölkerung</li> <li>- Überwachungsphase (Parameter, Verantwortung, Lager- und andere Standorte)</li> <li>- Entscheid über den Verschluss</li> </ul>
Institutionen; Verteilung der Kompetenzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wer legt heute fest, was geforscht wird? Wer sollte festlegen, was geforscht wird?</li> <li>- Inwieweit bestimmt die Schweiz die Inhalte, inwieweit werden die Inhalte durch das Ausland bestimmt? Wer hat den Lead in der F+E?</li> </ul>

Tabelle 2 Interviewleitfaden (1. Expertenrunde)

Expertengespräche (vor Schlussbericht)

Die 2. Expertenrunde umfasste zehn Expertengespräche, welche anhand von Thesen geführt wurden, die auf den Resultaten des Zwischenberichts basierten. Die Thesen wurden für die Experteninterviews als Fragen formuliert. Zwei weitere angefragte Personen haben sich in Bezug auf die gestellten Fragen nicht als geeignete Experten bezeichnet und auf ein Experteninterview verzichtet (Prof. J. Eberhard, Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich und Prof. Kuhn, Leiter Kompetenzzentrum für Sicherheit und Risikoprävention, Zürcher Hochschule Winterthur).

<i>Datum</i>	<i>Name</i>	<i>Vorname</i>	<i>Titel</i>	<i>Institut/ Arbeitgeber Funktion / Stellung</i>	<i>Dauer des Interviews Ort des Interviews</i>
22.04.04	Fritschi	Markus	Dr.	Nagra Bereichsleiter Lagerprojekte, Mitglied der Geschäftsleitung	80 Min. Nagra
22.04.04	Hadermann	Jörg	Dr. phil., dipl. phys.	PSI Leiter Labor für Endlagersicherheit	65 Min. PSI/LES
14.04.04	Hufschmied	Peter	Dr.	Emch+Berger Präsident KNE (Kommission Nukleare Entsorgung <sup>2</sup> )	65 Min. Emch+Berger, Bern
07.04.04	Kipfer	Rolf	Dr.	EAWAG Forschungsgruppe Umwelttechnologie Mitglied KNE (s. Fussnote 2)	70 Minuten EAWAG
24.03.04	Löw	Simon	Prof. Dr.	ETH Zürich Professor für Ingenieurgeologie am Geologischen Institut Mitglied KNE (s. Fussnote 2)	60 Minuten ETH Zürich
05.04.04	Sailer	Michael		Öko-Institut e.V. Stellvertretender Geschäftsführer, Mitglied im Arbeitskreis "Auswahlverfahren Endlagerstandorte"	55 Minuten Telefoninterview
06.04.04	Scholz	Roland	Prof. Dr.	ETH Zürich Professur für Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften. Referent Diss. Flüeler	70 Minuten ETH Zürich
06.04.04	Vigfusson	Johannes	Dr.	HSK Leiter Sektion Geologische Tiefenlagerung	80 Minuten HSK
30.03.04	Wildi	Walter	Prof.	Universität Genf Directeur Institut F.-A. Forel Präsident KSA (Eidg. Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen) <sup>3</sup>	65 Minuten Telefoninterview
22.04.04	Zuidema	Piet	Dr.	Nagra Bereichsleiter Abteilung Technik und Wissenschaft, Mitglied der Geschäftsleitung	80 Minuten Nagra

Tabelle 3 Befragte Experten (2. Expertenrunde)

Tabelle 4 zeigt die Themenkomplexe und Fragen in der 2. Expertenrunde. Die Experten wurden zu allen Fragen angesprochen, wobei die Schwerpunkte auf Grund der Erfahrungen und der wissenschaftlichen Ausrichtung der Experten gesetzt wurden.

Ziel der Gespräche in der 2. Expertenrunde war es:

<sup>2</sup> Die KNE ist als unabhängiges Gremium verantwortlich für die fachliche Beratung des Bundesamtes für Energie und der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) in erdwissenschaftlichen Fragen der nuklearen Entsorgung.

<sup>3</sup> Die KSA berät den Bundesrat und das UVEK in Belangen der technischen Sicherheit und des Strahlenschutzes bei Kernanlagen sowie der Entsorgung radioaktiver Abfälle.

- die bisher gewonnenen Erkenntnisse zu validieren, d.h. die Aussagen zur Entsorgungsforschung im Schlussbericht sollen begründet und nachvollziehbar sein und sich auf Expertenurteile abstützen können,
- insbesondere die Stärken/Schwächen in der aktuellen Entsorgungsforschung der Schweiz zu analysieren und
- Massnahmenvorschläge zu entwickeln.

<i>Themenkomplex</i>	<i>Fragen</i>
1. Forschung und Entwicklung in der Entsorgung radioaktiver Abfälle	Wie beurteilen Sie den generellen Stand des Wissens in der Entsorgungsforschung? Welche Kriterien führen Sie zu dieser Beurteilung?
2. Lagerung in tiefen geologischen Schichten	Ist das Konzept der Lagerung in tiefen geologischen Schichten das sicherste Verfahren? Falls ja, wie ist die Rest-Unsicherheit in Bezug auf die Forschungsausrichtung zu würdigen?
3. Internationaler Stand des Wissens	Wie ist der internationale Stand des Wissens in der naturwissenschaftlich-technischen Forschung zu beurteilen? Reicht der zur Verfügung stehende Zeitraum aus, um das noch fehlende Wissen bereit zu stellen?
4. Stand des Wissens in der Schweiz	Wie verhält sich der Schweizer Stand des Wissens in der naturwissenschaftlich-technischen Forschung im internationalen Vergleich?
5. Zweckorientierung der Entsorgungsforschung	Welche Vor- und Nachteile sehen Sie im Umstand, dass die Entsorgungsforschung auf das Ziel "sichere Entsorgung des radioaktiven Abfalls" fokussiert ist? Verhältnis Grundlagenforschung zu Entsorgungsforschung?
6. Inhaltliche Festlegung der Entsorgungsforschung in der Schweiz	Wer bestimmt, wie die Entsorgungsforschung aktuell ausgerichtet ist?
7. Internationale Vernetzung der Entsorgungsforscher	Wie beurteilen Sie den Grad der internationalen Vernetzung der Entsorgungsforscher? Welches sind die Auswirkungen?
8. Öffentliches Interesse an der Entsorgungsforschung in der Schweiz, Sozialwissenschaftliche Forschung	Wie wird das öffentliche Interesse am Thema "Entsorgung der radioaktiven Abfälle in der Entsorgungsforschung" berücksichtigt? Welche Themenfelder sind neben naturwissenschaftlich – technischen in der Entsorgungsforschung zu berücksichtigen? Welchen Beitrag könnte sozialwissenschaftliche oder volkswirtschaftliche Forschung leisten?
9. Strukturen und Mittel für die Entsorgungsforschung in der Schweiz	Wie beurteilen Sie die organisatorischen, personellen und finanziellen Verflechtungen in der Entsorgungsforschung? Welche Konsequenzen sind aus diesen Verflechtungen zu ziehen?

Tabelle 4 Interviewleitfaden (2. Expertenrunde)

### 2.3. Begriffsdefinitionen

#### Forschung und Entwicklung<sup>4</sup>

Forschung und experimentelle Entwicklung (F+E) umfassen alle schöpferischen, in systematischer Weise getätigten Arbeiten mit dem Ziel, Wissen zu erweitern und zu vertiefen, einschliesslich das Wissen über den Menschen, die Kultur, die Gesellschaft sowie dessen Umsetzung und Nutzung für neue Anwendungen.

<sup>4</sup> OECD-Definition 1993, zitiert nach <http://www.bbw.admin.ch>.

### **Grundlagenforschung<sup>5</sup>**

Grundlagenforschung steht für eine langfristige, primär dem Erkenntnisgewinn dienende Forschung, die nicht auf die Entwicklung direkt anwendbarer Problemlösungen oder marktfähiger Produkte ausgerichtet ist.

### **Entsorgung<sup>6</sup>**

Entsorgung: Konditionierung, Zwischenlagerung und Lagerung der radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager

### **Entsorgungsforscherinnen und Entsorgungsforscher / Entsorgungsforschung**

Im Text wird zum Teil allgemein von Entsorgungsforscherinnen und Entsorgungsforschern beziehungsweise von Entsorgungsforschung gesprochen. Gemeint sind dann alle Personen, welche Entsorgungs-F+E betreiben. In der Regel ist jedoch zu differenzieren, welche Art der Entsorgungsforschung gemeint ist, da beispielsweise Entsorgungsforscher an Universitäten und Forschungsanstalten zum Teil andere Interessen verfolgen als Entsorgungsforscher bei Implementern und Behörden. Zu unterscheiden ist ebenfalls zwischen Forschern, welche naturwissenschaftlich-technische Aspekte bearbeiten, und solchen, die geisteswissenschaftliche Aspekte untersuchen.

### **Wissenschaft<sup>7</sup>**

Inbegriff dessen, was überlieferter Bestand des Wissens einer Zeit ist, sowie v. a. der Prozess methodisch betriebener Forschung und Lehre als Darstellung der Ergebnisse und Methoden der Forschung mit dem Ziel, fachliches Wissen zu vermitteln und zu wissenschaftlichem Denken zu erziehen. Die Wissenschaft beginnt mit dem Sammeln, Ordnen und Beschreiben ihres Materials. Weitere Schritte sind die Bildung von Hypothesen und Theorien. Sie müssen sich am Material bestätigen (Verifikation) oder bei Widerlegung (Falsifikation) durch neue ersetzt werden. Die Zusammenfassung wissenschaftlicher Einzelergebnisse zu einer Ganzheit ist das System. Die Wissenschaft ist dem Ziel nach entweder theoretische ("reine") Wissenschaft oder angewandte ("praktische") Wissenschaft und wird traditionell in Natur- und Geisteswissenschaften geschieden.

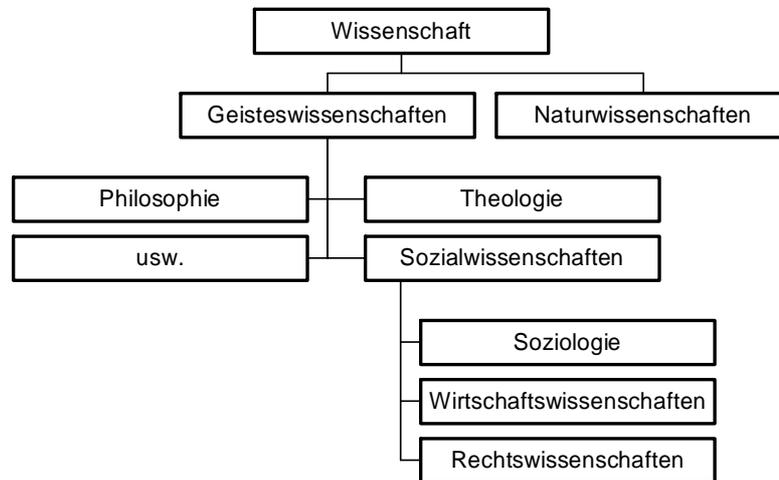
---

<sup>5</sup> Gemäss Definition in der Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Technologie in den Jahren 2004–2007 (BBI 2002 2419).

<sup>6</sup> Art. 3 lit. b Kernenergiegesetz.

<sup>7</sup> Brockhaus, Internetausgabe.

### Gliederung der Wissenschaften<sup>8</sup>



<sup>8</sup> Arzt (1996): 160.

### 3. Rechtliche Rahmenbedingungen in der Schweiz und auf EU-Ebene

Neues Kernenergiegesetz

Eine Selbstverständlichkeit ist an den Anfang zu stellen: Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich die Entsorgungsforschung in denjenigen Schranken und in diejenige Richtung zu "bewegen" hat, welche durch die Gesetze – legitimiert durch ein demokratisches Verfahren – festgelegt beziehungsweise vorgezeichnet sind. In den Expertengesprächen wurde mehrfach<sup>9</sup> betont, dass das neue Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (KEG)<sup>10</sup> verschiedene Entscheidungen betreffend Entsorgung getroffen hat. Zum Beispiel ist das Bewilligungsverfahren (inkl. die Rechte der verschiedenen Parteien) klar geregelt, so dass es sich gemäss Beurteilung der genannten Experten erübrigt, Forschungen mit dem Ziel zu betreiben, das "beste" Bewilligungsverfahren (inkl. Umfang der Rechte der verschiedenen Parteien) zu finden.

Gesetze sind jederzeit änderbar

Bereits an dieser Stelle sei allerdings darauf hingewiesen, dass Gesetze (jederzeit) änderbar sind. Ein oft verwendetes Zitat, das sinngemäss beziehungsweise in abgeschwächter Form auch für die Entsorgungsforschung gilt, bringt es auf den Punkt: Ein Federstrich des Gesetzgebers genügt, um ganze juristische Bibliotheken zu Makulatur werden zu lassen. Eine Änderung des KEG – z.B. Verzicht auf das Konzept der geologischen Tiefenlagerung im Inland – kann bewirken, dass die bisherigen Forschungsergebnisse nicht oder nur mehr teilweise gebraucht werden beziehungsweise dass sich die Forschung neu auszurichten hat.

#### 3.1. Übereinkommen über die Sicherheit der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle

Joint Convention in Kraft seit Juni 2001

Das internationale Übereinkommen über die Sicherheit der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle vom 5. September 1997 (Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management), für die Schweiz und für 24 andere Staaten am 18. Juni 2001 in Kraft getreten, legt die Ziele im Entsorgungsbereich fest. Dem Übereinkommen sind bisher 33 Staaten beigetreten, welche sich im November 2003 zu einem ersten Review Meeting in Wien getroffen haben (Williams et al., 2003).

Ziele

Die Ziele des Übereinkommens sind (Art. 1):

- Erreichen und Halten eines weltweit hohen Sicherheitsstands bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle
- Gewährleisten wirksamer Abwehrmassnahmen gegen allfällige Störeinflüsse
- Verhindern von Unfällen und Mildern der Konsequenzen von Unfällen

<sup>9</sup> Fritschi und Zuidema, Nagra, 03.12.2003, sowie Vigfusson und Zurkinden, HSK, 17.12.2003.

<sup>10</sup> Das Kernenergiegesetz wird – zusammen mit der dazugehörigen Verordnung (Stand: Vernehmlassungsverfahren läuft bis August 2004) – voraussichtlich am 1. Januar 2005 in Kraft gesetzt.

Einfluss auf die Ausrichtung der Endlagerforschung

Um zu kontrollieren, ob diese Ziele erreicht werden, sind die Mitgliedstaaten verpflichtet, für die mindestens alle drei Jahre stattfindenden Review-Meetings (Art. 30) Bericht zu erstatten. Der Bericht hat sich zu äussern über (Art. 31):

- Politik zum Umgang mit abgebrannten Brennelementen
- Entsorgungspolitik
- Entsorgungspraxis
- Kriterien für die Definition radioaktiver Abfälle
- Liste der Kernanlagen mit Entsorgungsaufgaben
- Inventar des radioaktiven Abfalls

Ergebnisse der Überprüfung des Schweizer Berichts

Der Schweizer Länderbericht wurde am 6.11.2003 überprüft. Die Prüfung ergab, dass die in der Schweiz getroffenen Massnahmen die Verpflichtungen des Übereinkommens erfüllen, insbesondere:<sup>11</sup>

- Das schweizerische Entsorgungsprogramm für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle steht im Einklang mit dem Übereinkommen.
- Die Zwischenlager verfügen über eine ausreichende Lagerkapazität.
- Es besteht eine elektronische Datenbank über sämtliche radioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente ausserhalb der Reaktor-Kühlbecken.
- Der im neuen Kernenergiegesetz vorgeschriebene Schutzbereich für die geologischen Tiefenlager und dessen grundbuchamtliche Registrierung bereits bei der Rahmenbewilligung werden als vorbildlich erachtet.
- Der starke Einbezug der Öffentlichkeit und der Nachbarländer wird als positiv vermerkt.

### **3.2. Neues Kernenergiegesetz (KEG) und Vernehmlassungsentwurf Kernenergieverordnung (KEV; April 2004)**

Kernenergiegesetz regelt die Entsorgung

Mit den neuen gesetzlichen Regelungen zur Entsorgung wurde indirekt der Forschungsbedarf abgesteckt beziehungsweise die bisherige Forschung bestätigt, indem die Ziele und die Art der Entsorgung in den Grundzügen (Art. 30-41 KEG) festgelegt wurden. Ebenfalls geregelt wurden die Finanzierung der Entsorgung (Art. 77-82 KEG) und die Finanzierung der Forschung (Art. 83 KEG). Die relevanten Bestimmungen aus dem KEG sind im Anhang abgedruckt (Kap. 10, S. 74). Das neue Kernenergierecht soll voraussichtlich auf den 1.1.2005 in Kraft gesetzt werden.

Grundsätze

Bei der Entsorgung gilt das Verursacherprinzip. Wer für die Entstehung der Abfälle verantwortlich ist, hat sie zu entsorgen und die Kosten dafür zu bezahlen (KEG 31 I). Die Entsorgungspflicht wird mit der Verbringung in ein geologisches Tiefenlager und mit der Sicherstellung der finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss erfüllt (KEG 31 II). Grundsätzlich sind Importe und Exporte von radioaktiven Abfällen unzulässig (KEG 34; mit Ausnahmen).

<sup>11</sup> Aktennotiz der HSK (ohne Autorenangabe und Datum), abrufbar unter [www.hsk.ch](http://www.hsk.ch).

Durchführung der Entsorgung	<p>Die Entsorgungspflichtigen haben ein Entsorgungsprogramm zu erstellen (KEG 32). Gemäss Vernehmlassungsentwurf KEV (April 2004) hat das alle fünf Jahre anzupassende Entsorgungsprogramm insbesondere Angaben zu machen über (Art. 52 E-KEV):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- die benötigten geologischen Tiefenlager,</li> <li>- den Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager,</li> <li>- die Zwischenlagerung,</li> <li>- den Finanzplan bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen und</li> <li>- das Informationskonzept.</li> </ul> <p>Die Einlagerung der Abfälle in das geologische Tiefenlager bedeutet nicht das Ende der Pflichten. Vielmehr ist das Lager zu beobachten und ein Projekt für den allfälligen Verschluss muss vorliegen (KEG 39). Die Schutzbereiche sind raumplanerisch festzuhalten (KEG 40 IV) und die Daten über die geologischen Tiefenlager aufzubewahren (KEG 40 VI). Kenntnisse über das dauerhaft zu markierende Lager sind zu erhalten (KEG 40 V und VI). Im Weiteren wurden das Bewilligungsverfahren inkl. Anhörungsrechte sowie Rechtsschutz festgelegt (Bewilligungspflicht für erdwissenschaftliche Untersuchungen, Rahmenbewilligung, Baubewilligung, Betriebsbewilligung).</p>
Finanzierung der Stilllegung und der Entsorgung	<p>Wer Eigentümer einer Kernanlage ist, hat Beiträge an die Stilllegung und Entsorgung zu leisten (KEG 77). Die Beiträge werden in Fonds verwaltet und stehen unter der Aufsicht des Bundes (KEG 81). Die in den Fonds vorhandenen Mittel sollten alle zukünftigen Aufwendungen für Stilllegung und Entsorgung decken (KEG 77 I und II).</p>
Finanzierung der Forschung	<p>Der Bund kann von den Inhabern von Kernanlagen beziehungsweise von den Gestellern Gebühren erheben für Forschungsvorhaben, welche für Kernanlagen durchgeführt oder veranlasst werden (KEG 83 I lit. d). Im Weiteren kann der Bund die angewandte Forschung mit eigenen Mitteln unterstützen (KEG 86).</p>

### 3.3. Gescheiterte EU-Richtlinienentwürfe

In der Europäischen Union wollte die EU-Kommission die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle in einer gemeinsamen Richtlinie<sup>12</sup> regeln. Diese scheiterte jedoch im EU-Ministerrat. Der Kommissionsvorschlag und die Gründe für sein Scheitern werden im Folgenden dargestellt, weil sie Einblick in Stand und Widerstand in der europäischen Entsorgungsdiskussion geben.

#### Kommissionsvorschlag

Betriebsbereitschaft 2018

Der Richtlinienentwurf<sup>13</sup> sah ein gemeinsames Lagerkonzept für alle Mitgliedstaaten vor. Er favorisierte im Zusammenhang mit hochaktiven Abfällen die Lagerung in geologischen Formationen, was "nach dem heutigen Kenntnisstand das

<sup>12</sup> KOM(2003)32 endg.

<sup>13</sup> KOM(2003)32 endg.

sicherste Verfahren" sei. Die Mitgliedstaaten sollten gemäss Kommission bis 2008 eine Lagerstätte wählen, die spätestens 2018 betriebsfähig sein sollte. Die Lagerung schwach aktiver, kurzlebiger Abfälle sei bis 2013 zu regeln. Die Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedstaaten wurde in Erwägung gezogen, aber kein Mitgliedstaat sei verpflichtet, Importe radioaktiver Abfälle aus anderen Ländern zu akzeptieren.<sup>14</sup>

#### Forschungsbedarf

Die EU-Kommission war zwar davon überzeugt, dass die Lagerung in geologischen Formationen die "beste Entsorgungsmöglichkeit" sei.<sup>15</sup> Es sei gewährleistet, "dass jegliche Restradioaktivität nur nach vielen tausend Jahren und im Vergleich zur natürlichen Hintergrundstrahlung unerheblichen Konzentrationen austritt".<sup>16</sup> Es sei jedoch – unter dem Aspekt der Belastung zukünftiger Generationen und auch im Lichte des 11. Septembers 2001 – Besorgnis erregend, dass mehrere Mitgliedstaaten mit der Ermittlung und Genehmigung der geeigneten Endlagerstätten in Rückstand geraten seien. Für die Forschung heisst dies:<sup>17</sup>

Wichtige Arbeiten der Forschung und technologischen Entwicklung (FTE) müssen weitergeführt werden, damit die einzelnen Standorte umfassend untersucht und die relevanten geologischen, geochemischen und hydrogeologischen Prozesse wie auch die langfristige Eignung der technischen Einschussbarrieren in der tatsächlichen Endlagerumgebung erkundet werden. Die Einlagerung in tiefen geologischen Formationen kann radioaktive Abfälle vom Menschen und seiner Umwelt für die sehr lange notwendige Zeit abschirmen und wird erforderlich sein für eine Anzahl von Abfallarten, die es bereits gibt, sowie andere, die in Zukunft anfallen werden. Sie ist die beste zur Verfügung stehende Option für die langfristige Entsorgung von vielen der gefährlicheren Arten von Abfall. Allerdings ist es wichtig, dass das Beginnen des Betriebes von geologischen Endlagern nicht als letzte Lösung zur Entsorgung von radioaktiven Abfällen gesehen wird. Fortschritte auf dem Weg zur Endlagerung in tiefen geologischen Formationen dürfen nicht dazu führen, dass die FTE auf anderen Gebieten der Entsorgung radioaktiver Abfälle eingeschränkt wird, wie z. B. die Forschungsarbeiten über neue Technologien zur Minimierung der Abfallmenge, da sich aus solchen Forschungsgebieten in der Zukunft neue Optionen abzeichnen könnten. Die finanziellen Verpflichtungen müssen aufrecht gehalten und in einigen Mitgliedstaaten sogar aufgestockt werden. Ferner ist eine effektivere Zusammenarbeit zwischen diesen einzelnen Programmen vonnöten, da Fortschritte auf diesem Gebiet für die EU als Ganze von Bedeutung sind. Durch die Schaffung eines Rahmens für eine bessere Zusammenarbeit und Koordinierung in diesem Bereich wird die Kostenwirksamkeit insgesamt verbessert wie auch die so wichtige Glaubwürdigkeit und öffentliche Akzeptanz der FTE als Ganze. Das Rahmenprogramm der Gemeinschaft wird zwar weiterhin eine wichtige Rolle für die Förderung der Forschung auf diesen Gebieten spielen, aber dies allein reicht wohl nicht aus, um den Erfolg zu garantieren. Mehrere Mitgliedstaaten haben eigene Forschungs- und Entwicklungsprogramme, die entweder aus nationalen Budgets oder vom Nuklearsektor finanziert werden. Dennoch ist es zurzeit nicht klar, ob diese einzelnen nationalen Programme ausreichen, um sämtliche noch offenen Fragen zu behandeln. Es ist wahrscheinlich, dass die finanzielle Verpflichtung entscheidend aufgestockt werden muss. Die Kommission wird weiterhin die Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedstaaten auf gemeinsamen Gebieten der Forschung und technologischen Entwicklung ermutigen. Ausserdem plant sie, dem Rat die Errichtung eines gemeinsamen Unternehmens im Sinne des Kapitels 5 von Titel II des EURATOM-Vertrags vorzuschlagen, das diese Mittel verwalten und die Forschung lenken soll. Industrie und Mitgliedstaaten würden sich auf freiwilliger Basis an diesem gemeinsamen Unternehmen beteiligen.

#### Gründe für das Scheitern des Kommissionsvorschlags

#### Zahlreiche offene Fragen

Der Vorschlag der EU-Kommission wurde vom Rat der EU zwar "generell unterstützt", es seien aber noch zahlreiche Fragen offen, unter anderem:<sup>18</sup>

<sup>14</sup> Pressemitteilung EU vom 30.01.2003, IP/03/132.

<sup>15</sup> KOM(2003)32 endg., S. 32.

<sup>16</sup> KOM(2003)32 endg., S. 33.

<sup>17</sup> KOM(2003)32 endg., S. 33.

<sup>18</sup> Rat der EU (30.06.2003), 11046/03

- Wie würde die vorgeschlagene Richtlinie die Annahme nationaler Abfallentsorgungspläne in der Praxis erleichtern?
- Warum sollten die Fristen für alle Mitgliedstaaten identisch sein?
- Wie kann angesichts der Fristen die technologische Entwicklung berücksichtigt werden, insbesondere im Hinblick auf Alternativen zu der im Vorschlag bevorzugten Lösung?
- Würde der Vorschlag Auswirkungen auf die (finanzielle) Verantwortung der Betreiber haben?
- Ist die Idee eines gemeinsamen Unternehmens (Forschungsaktivitäten) notwendig bzw. vereinbar mit den laufenden Aktionen auf nationaler, gemeinschaftlicher und internationaler Ebene?

Das Vorhaben scheiterte im Ministerrat aber nicht nur an diesen inhaltlichen Fragen. Mehrere EU-Staaten hatten Zweifel, ob die EU über eine genügende gesetzliche Grundlage verfüge, um in diesem Bereich eine Richtlinie zu erlassen.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> AWP-News (28.06.2004): De Palacios Nuklearpaket scheitert endgültig im EU-Ministerrat.

## 4. Relevante Organisationen

Vorbemerkung

Die meisten der nachfolgend erwähnten Organisationen haben ihre Tätigkeitsschwerpunkte zum grossen Teil nicht in der Forschung und Entwicklung. In diesem Bericht werden die für die Forschung relevanten Aktivitäten ausgewählt und kommentiert.

### 4.1. Internationale Organisationen

[www.nea.fr](http://www.nea.fr)

Die Nuclear Energy Agency (NEA) ist eine für die friedliche Nutzung der Kernenergie zuständige Behörde innerhalb der OECD mit Sitz in Paris. Aktuell sind 28 Länder Mitglieder der NEA (Australien, Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Grossbritannien, Irland, Island, Italien, Japan, Kanada, Korea, Luxemburg, Mexiko, Niederland, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Spanien, Tschechien, Türkei, Ungarn, USA), die zusammen rund 85% der globalen Kernenergie produzieren. Die NEA arbeitet eng mit der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO; engl. IAEA) in Wien zusammen. Innerhalb der OECD bestehen enge Bindungen zur Internationalen Energie Agentur (International Energy Agency, IEA) und zur Direktion Umwelt. Die NEA hat einen Personalbestand von 72 Mitarbeitern. Das Jahresbudget liegt bei rund 12 Mio. EUR.

In der NEA werden zahlreiche Koordinations-, Informations-, Review- und Forschungsaktivitäten zum Thema Entsorgung der radioaktiven Abfälle durchgeführt. Die Organisation unabhängiger, internationaler Peer Reviews von nationalen Projekten ist eine wichtige Aufgabe der NEA. Eine spezielle, international zusammengesetzte Arbeitsgruppe (Radioactive Waste Management Committee, RWMC) wurde eingesetzt, um<sup>20</sup>

- ein Forum für den Informations- und Erfahrungsaustausch zu schaffen;
- ein gemeinsames Verständnis der grundlegenden Fakten und Entscheide zu entwickeln;
- den Überblick über den aktuellen Stand der Technik und der Wissenschaft zu behalten;
- Informationen zu verbreiten und Meetings vorzubereiten und
- den Mitgliedstaaten auf Verlangen einen Rahmen für die Bewertung ihrer Entsorgungspolitik anzubieten.

Untergruppen des RWMC

Das RWMC unterhält drei Working Parties:

- Forum on Stakeholder Confidence (FSC). Tätigkeitsfelder des FSC:<sup>21</sup> Festlegen der Tätigkeitsfelder in den Bereichen öffentliche Wahrnehmung und Vertrauensbildung, Beratung des RWMC in den Bereichen Wahrnehmung und Vertrauensbildung, internationaler Austausch und gemeinsame Analyse der Erkenntnisse und Erfahrungen, Analyse der Fortschritte bei der Einbettung der Entsorgungsprogramme in die sozio-politische Entscheidungsfindung)

<sup>20</sup> <http://www.nea.fr/html/rwm/rwmc.html>.

<sup>21</sup> NES/RWM(2003)4/REV2: Forum on Stakeholder Confidence, Mandate – Phase 2.

- Integration Group for the Safety Case (IGSC)
- RWMC Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD)

Bedeutung für die vorliegende Studie: Die OECD/NEA und ihre Unterorganisationen haben zahlreiche Publikationen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle verfasst, unter anderem auch zum Stand der Forschung. Der von der Schweiz verlangte internationale Review der Nagra-Sicherheitsanalyse im Rahmen des Projekts Opa-linuston (NEA [2004], Nagra [2002c]) wurde von der NEA organisiert. Die NEA und ihre Unterorganisationen bieten ein internationales Netzwerk an, in dem sehr viel Wissen über Landesgrenzen hinweg ausgetauscht wird. Die Schweiz ist mit Experten in der NEA vertreten.

[www.iaea.org](http://www.iaea.org)

Die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) ist eine unabhängige wissenschaftliche und technologiebasierte Organisation innerhalb der UNO, welche die Mitgliedstaaten bei der Planung und Nutzung von Kernenergieanwendungen unterstützt und auch ausserhalb der Kernenergie (z.B. Strahlenquellen) tätig ist. Sie entwickelt Sicherheitsstandards für die Nuklearenergie und führt selber Inspektionen durch, um zu überprüfen, ob Kernmaterial nur für friedliche Zwecke verwendet wird. Innerhalb der IAEA ist das Waste Safety Standards Committee (WASSC) die ständige Stelle, welche für regulatorische Fragen rund um die Sicherheit der nuklearen Abfälle zuständig ist.

Bedeutung für die vorliegende Studie:

- Im Rahmen der IAEO wurde das Internationale Abkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle ausgehandelt. Dieses ist für die Schweiz am 18.06.2001 in Kraft getreten.
- Gestützt auf die vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse erlässt die IAEO (unverbindliche) Vorschriften in Form von Safety Fundamentals, Safety Requirements and Safety Guides zur Entsorgung radioaktiver Abfälle. Der Stand von Wissenschaft und Technik wird in verschiedenen IAEO-Richtlinien festgehalten.
- Im Jahr 2000 führte die IAEO eine internationale Konferenz zum Thema "Safety of Radioactive Waste Management" in Cordoba (13.-17.03.2000) durch. Eine weitere Konferenz zum Thema "Issues and Trends in Radioactive Waste Management" fand vom 9. bis zum 13. 12.2002 in Wien statt.
- Unter dem Patronat der NEA und der IAEO wurde 2003 in Stockholm eine Konferenz zu den politischen und technischen Fortschritten der geologischen Tiefenlagerung durchgeführt.

[www.europa.eu.int](http://www.europa.eu.int)

Die Forschung zur Kernenergie, welche 35% des Elektrizitätsbedarfs in der EU deckt, wird vor allem von den Mitgliedstaaten getragen. Die EU selber unterstützt mit beträchtlichen Mitteln die Forschung und Ausbildung in den Bereichen Kernenergie, Strahlenschutz und Entsorgung (940 Mio. EUR in der Periode 2002-2006) und betreibt zusätzlich innerhalb der Europäischen Atomgemeinschaft (EURA-

TOM)<sup>22</sup> eine Gemeinsame Forschungsstelle (290 Mio. EUR in der Periode 2002-2006). Aktuell läuft das 6. Forschungsrahmenprogramm (vgl. Kap. 5.4). Innerhalb der EU-Entsorgungsforschung werden auch sozialwissenschaftliche Aspekte untersucht, z.B. im Projekt COWAM (Comparison of decision making processes at the local and regional community level in nuclear waste facility siting) oder im Projekt RISCUM2, in dem ein europäischer Ansatz zur Partizipation der Öffentlichkeit und zur Entscheidungsfindung im Bereich der Entsorgung von Atomabfällen erarbeitet wurde.

Bedeutung für die vorliegende Studie: Die EU-Forschungsrahmenprogramme, an denen sich auch die Schweiz – bereits vor der Inkraftsetzung der Bilateralen I – beteiligt (hat), sind für die Ausrichtung der Entsorgungsforschung von grundsätzlicher Bedeutung.

#### 4.2. Schweden

[www.skb.se](http://www.skb.se)

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB; Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co) ist das schwedische Pendant der NAGRA. Schweden verfügt über ein zentrales Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente (CLAB in Oskarshamn) und ein Endlager für radioaktive Betriebsabfälle (SFR in Forsmark). Im Jahr 2002 begann SKB für hochaktive Abfälle mit der Standortuntersuchung, nachdem in den Machbarkeitsstudien die beiden Standorte Oskarshamn und Forsmark als grundsätzlich geeignet evaluiert wurden. Die SKB rechnet damit (Stand November 2003), dass ein Tiefenlager im Jahr 2017 in Betrieb genommen werden kann. Der Bau des Lagers für langlebige schwachaktive und für mittelaktive Abfälle ist in ungefähr 30 Jahren vorgesehen.

Bedeutung für die vorliegende Studie: Der Stand und das Programm der Forschung wird in einem, alle drei Jahre erscheinenden Technical Report (letztmals: SKB 2001) dargestellt. Das schwedische Entsorgungsprogramm ist schon weit fortgeschritten. Die Standortevaluation in Schweden beruhte auf einem partizipativen Verfahren, in welchem sich die Gemeinden um den Lagerstandort bewerben konnten.

[www.ski.se](http://www.ski.se), [www.ssi.se](http://www.ssi.se)

Swedish Nuclear Power Inspectorate (SKI), die schwedische Aufsichtsbehörde für die nukleare Sicherheit, hat 115 Mitarbeiter. Sie konkretisiert die gesetzlichen Sicherheitsanforderungen für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Soweit es bei der Entsorgung um Strahlenschutzaspekte geht, ist die Strahlenschutzbehörde (SSI) zuständig.

<sup>22</sup> Der 1957 unterzeichnete Euratom-Vertrag verfolgte ursprünglich das Ziel, "zur schnellen Bildung und Entwicklung von Kernindustrien" beizutragen. Angesichts der uneinheitlichen Art und Weise, wie sich die Kernenergie in den Mitgliedstaaten entwickelt hat, wurde das Vorhaben eines "Gemeinsamen Marktes" der Kernenergie in der Praxis nie verwirklicht. Hingegen hat Euratom bewirkt, dass die europäische Forschung auf diesem Gebiet nie nachgelassen hat. (FTE info, Magazin für die europäische Forschung, Nr. 40, Februar 2004, S. 6).

### 4.3. Finnland

[www.posiva.fi](http://www.posiva.fi)

Posiva ist eine von den Kernkraftwerken gegründete Expertenorganisation mit ca. 40 Mitarbeitern, welche für die Evaluation, den Bau und den Betrieb der Endlager für abgebrannte Brennelemente verantwortlich ist. Posiva reichte im Mai 1999 ein Gesuch für die Inangriffnahme eines Endlagerprojekts für abgebrannte Brennelemente in Olkiluoto ein. Dieses wurde von der Regierung im Dezember 2000 grundsätzlich positiv beantwortet. Das Parlament hat im Jahr 2001 den sogenannten "Decision in Principle" genehmigt. Die Baubewilligung wird im Jahr 2010 erwartet, 10 Jahre später soll eine Betriebsbewilligung vorliegen. Gemäss "Decision in Principle" soll im Jahr 2050 Bilanz gezogen und mit Hilfe der dann verfügbaren Technologie geprüft werden, ob dieses Lager endgültig sein soll.

Bedeutung für die vorliegende Studie: Finnland ist in der Entsorgung – wie Schweden – wesentlich weiter als die Schweiz.

[www.stuk.fi](http://www.stuk.fi)

STUK, die finnische Aufsichtsbehörde, beschäftigt rund 300 Mitarbeiter. STUK hat für den Standort Olkiluoto Sicherheitsanforderungen aufgestellt, u.a. für die Endlagerung abgebrannter Brennelemente (STUK-YTO-TR 199, May 2003).

### 4.4. USA

[www.ymp.gov](http://www.ymp.gov)

Das U.S. Departement of Energy (DOE) ist verantwortlich für den Bau und den Betrieb des vorgesehenen geologischen Endlagers für hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente in Yucca Mountain. Nachdem der US-Präsident und der US-Kongress dem Endlagerstandort grundsätzlich zugestimmt haben, ist das DOE daran, ein Bewilligungsgesuch zu Händen der Nuclear Regulatory Commission (NRC) auszuarbeiten.

Bedeutung für die vorliegende Studie: Das Yucca-Mountain-Project (YMP) ist das Projekt, für das am meisten Forschungsgelder im Bereich der Endlager ausgegeben wurden. In den letzten 30 Jahren wurden rund 7 Mia. US-D für das gesamte YMP verwendet.<sup>23</sup>

[www.wipp.ws](http://www.wipp.ws)

Die Waste Isolation Pilot Plant (=WIPP) ist weltweit das erste Lager in geologischen Schichten für langlebige mittelaktive Abfälle aus der Forschung und aus der Nuklearwaffenproduktion. WIPP nahm seinen Betrieb im März 1999 auf. Das Lager liegt in der Chihuahuan-Wüste im Staate New Mexico.

[www.epa.gov](http://www.epa.gov)

Die Environmental Protection Agency ist verantwortlich für die Entwicklung der am Endlagerstandort einzuhaltenden Standards. Für die Umsetzung der Standards ist die Nuclear Regulatory Commission (NRC) verantwortlich.

[www.nrc.gov](http://www.nrc.gov)

Die Nuclear Regulatory Commission (NRC) ist zuständig für die fachliche Vorbereitung der Bewilligungen.

---

<sup>23</sup> NZZ 26.01.03, S. 23.

#### 4.5. Schweiz

[www.nagra.ch](http://www.nagra.ch)

Die Aufgabe der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) ist das Erarbeiten der technisch-wissenschaftlichen Grundlagen für die sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle. Die Nagra wird gebildet und finanziert durch sechs Genosschafter (Schweizerische Eidgenossenschaft; BKW FMB Energie AG, Bern [KKW Mühleberg]; KKW Gösgen-Däniken AG, Däniken; KKW Leibstadt AG, Leibstadt; Nordostschweizerische Kraftwerke Baden [KKW Beznau I & II]; Energie Ouest Suisse, Lausanne). Die laufenden und zukünftigen Entsorgungskosten sind im heutigen Strompreis enthalten. Die Zwischen- und Endlagerung belastet den Stromkonsumenten mit rund 1 Rappen pro Kilowattstunde Kernenergie.<sup>24</sup>

Bedeutung für die vorliegende Studie: Die Nagra trägt durch eigene oder durch Auftragsforschung (z.B. am PSI) das Schwergewicht der Entsorgungsforschung in der Schweiz. Gestützt auf die langjährigen Forschungen und Untersuchungen (Bohrungen, Seismik, Felslabors) hat sie dem Bundesrat Ende 2002 den "Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle" (Projekt Opalinuston) eingereicht. Dieser Nachweis wird zur Zeit vom Bund geprüft. Der Entsorgungsnachweis für die schwach- und kurzlebigen mittelaktiven Abfälle wurde bereits mit dem Projekt "Gewähr" (1985) erbracht.

[www.hsk.ch](http://www.hsk.ch)

Die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) ist eine technisch-wissenschaftlich ausgerichtete Institution. Die HSK beaufsichtigt und beurteilt in erster Linie die nukleare Sicherheit und den Strahlenschutz der Schweizer Kernanlagen. Ferner übernimmt sie die wissenschaftliche Begleitung und die Begutachtung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen im Hinblick auf die Endlagerung der radioaktiven Abfälle wie zum Beispiel Sondierbohrungen. Ihrer Aufsicht ist auch das Bundeszwischenlager unterstellt.

Bedeutung für die vorliegende Studie: Die HSK als technisch-wissenschaftliche Behörde definiert die Anforderungen an die Endlagersicherheit beziehungsweise bereitet die Definition zu Handen der jeweiligen Entscheidungsbehörden vor. Ihr kommt auch im Bewilligungsprozess – als Fachbehörde – eine entscheidende Stellung zu. Die HSK hat ein Strategiepapier mit dem Titel "Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK" ausgearbeitet (Entwurf Mai 2004).

[www.energie-schweiz.ch](http://www.energie-schweiz.ch)

Dem Bundesamt für Energie (BFE) kommen verschiedene Funktionen bei der Entsorgung zu. Bei den Bewilligungsverfahren kommt ihm die zentrale Behördenrolle zu. Es gibt jährliche Überblicke über die Energieforschung heraus. Der nuklearen Sicherheit und Entsorgung ist darin jeweils ein Kapitel gewidmet. Die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE, deren Sekretariat vom BFE geführt wird, veröffentlicht alle vier Jahre ein Konzept für die Energieforschung. Im aktuellen Konzept wurden folgende Forschungsgrundsätze festgelegt:<sup>25</sup>

<sup>24</sup> <http://www.nagra.ch/deutsch/nagra/nagra.htm>.

<sup>25</sup> Eidgenössische Energieforschungskommission CORE (2004): 26.

- Priorität kommt langfristigen energiepolitischen Perspektiven zu. Auf dem Weg dorthin sind aber auch kurzfristige Probleme zu lösen.
- Deshalb muss die Forschungsförderung flexibel bleiben.
- Die Forschungsprogramme müssen von ganzheitlicher Denkweise geprägt sein sowie Kontinuität und hohe Qualität aufweisen.
- Wichtige Ziele sind auf mehreren Wegen anzustreben, je nach Thema auch in internationaler Zusammenarbeit.
- Da der angestrebte Übergang zu einem nachhaltigen Energie-Mix das Resultat wirtschaftlicher Entscheidungen sein wird, ist die sozio-ökonomische Forschung von zentraler Bedeutung.
- Grosses Gewicht ist dem Transfer der Forschungsergebnisse in die Praxis, wobei Pilot- und Demonstrationsanlagen wesentliche Elemente sind, sowie der Information der Öffentlichkeit beizumessen.

Bedeutung für die vorliegende Studie: Das BFE ist Auftraggeber der vorliegenden Studie und gleichzeitig ein wichtiger Akteur bei der Festlegung der bisherigen und zukünftigen Forschungsinhalte. Mit seinen Aufträgen entfaltet das BFE eine gewisse Steuerungswirkung (z.B. Aufträge 2004 zu den sozioökonomischen Auswirkungen von Entsorgungsanlagen<sup>26</sup>). Die Energieforschungskommission ist der zentrale Akteur bei der Ausrichtung der durch den Bund geförderten Entsorgungsforschung.

Zur AGNEB s.  
[www.energie-schweiz.ch](http://www.energie-schweiz.ch)

Im Februar 1978 setzte der Bundesrat die Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (AGNEB) ein. Die AGNEB hat den Auftrag, die Arbeiten zur nuklearen Entsorgung in der Schweiz zu verfolgen, zuhanden des Bundesrates Stellungnahmen zu Fragen der nuklearen Entsorgung zu erarbeiten, die Bewilligungsverfahren auf Bundesebene zu begleiten und Fragen der internationalen Entsorgung zu behandeln.

[www.ksa.admin.ch](http://www.ksa.admin.ch)

Die Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA) berät den Bundesrat und das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation in Fragen der nuklearen Sicherheit von Kernanlagen. Zu ihren Aufgaben gehört gemäss Verordnung auch die Grundlagenbeschaffung und Forschung. Gemäss Artikel 5 Absatz 2 verfolgt sie die Forschung auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit im In- und Ausland und schlägt Forschungsarbeiten in der Schweiz oder die Beteiligung schweizerischer Stellen an ausländischen oder internationalen Projekten vor.

Kommission Nukleare  
Entsorgung

Die Kommission Nukleare Entsorgung (KNE) berät das BFE respektive die HSK in wichtigen erdwissenschaftlichen Fragen der nuklearen Entsorgung.

[www.zwilag.ch](http://www.zwilag.ch)

Die ZWILAG Zwischenlager Würenlingen AG ist eine Aktiengesellschaft der Schweizer Kernkraftwerk-Betreibergesellschaften. Das Aktienkapital ist proportional zur thermischen Leistung der Kernkraftwerke aufgeteilt. Zweck der Gesellschaft ist der Bau und Betrieb von Zwischenlagern für alle Kategorien radioaktiver Abfälle und für abgebrannte Brennelemente sowie von Abfallbehandlungsanlagen für

<sup>26</sup> Medienmitteilung des BFE vom 6.4.2004, Sozio-ökonomische Auswirkungen von Entsorgungsanlagen.

schwach- und mittelaktive Abfälle in Würenlingen. Die Zwiilag hat sich entschieden, bei der Verbrennung radioaktiver Abfälle einen dem Stand der Technik entsprechenden neuen Weg zu beschreiten. Die radioaktiven Abfälle werden nicht mehr auf konventionelle Art verascht, sondern mit einem Hochleistungsplasmabrenner bei hohen Temperaturen thermisch zersetzt oder aufgeschmolzen.

Bedeutung für die vorliegende Studie: Während die Endlagerung ein vordringliches politisches Problem darstellt, sind die Diskussionen um die Zwischenlagerung vergleichsweise gering. Diese Diskrepanz kann allenfalls Hinweise geben für die Herleitung des Forschungsbedarfs.

## 5. Übersicht über die internationalen Forschungsaktivitäten

### 5.1. Vorbemerkungen

Standortspezifische  
Endlagerforschung

Endlagerforschung in der Schweiz darf nicht mit Endlagerforschung in anderen Ländern gleichgestellt werden: Ein Endlager in einer Tonformation (Schweiz, Belgien, Frankreich) wirft ganz andere wissenschaftlich-technische Fragen auf als ein Endlager in Granit (Schweden, Finnland), Tuff (USA) oder Anhydrit (Morsleben, Deutschland). Wenn ein Land einen Richtungswechsel in der Endlagerformation einschlägt, muss es ihr Forschungsprogramm grundsätzlich revidieren.<sup>27</sup>

Strategien ausgewählter EU-  
Länder

Die Entsorgungskonzepte der Mitgliedstaaten der EU-25 werden im 5. Lagebericht zur Entsorgung radioaktiver Abfälle in der erweiterten Europäischen Union (EUR 20653, Februar 2003)<sup>28</sup> dargestellt. Für die Ausrichtung der Forschung sind die nationalen Strategien relevant, weshalb im Folgenden diejenigen von Finnland, Frankreich, Deutschland und Schweden wiedergegeben werden (wörtliche Wiedergabe aus dem 5. Lagebericht, S. 12-14):

	<i>Schwach- und mittelaktive Abfälle</i>	<i>Hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente</i>
Finnland	Routinemässige Entsorgung von KKW-Betriebsabfällen in oberflächennahen Endlagern an den beiden KKW-Standorten.	Abgebrannte Brennstoffe werden in reaktorfernen Anlagen an den KKW-Standorten gelagert. In seiner Grundsatzentscheidung von 2001 stimmte das finnische Parlament der Wahl von Olkiluoto als Standort für die Errichtung eines tiefen Endlagers zu, vorbehaltlich der Genehmigung durch die Regulierungsbehörden. Die Abfallentsorgungseinrichtung erarbeitet zurzeit ein Programm für umfassende Untersuchungen an diesem Standort.

<sup>27</sup> E-Mail S. Löw, 29.05.2004.

<sup>28</sup> Abrufbar unter [http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/publications/synopses\\_en.htm#20653](http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/publications/synopses_en.htm#20653).

	<i>Schwach- und mittelaktive Abfälle</i>	<i>Hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente</i>
Frankreich	Routinemässige Entsorgung kurzlebiger SMAA in der Anlage Centre de l'Aube. Eine benachbarte Anlage wird zur Lagerung von sehr schwach aktiven Abfällen ausgebaut.	Routinemässige Wiederaufbereitung des grössten Teils, wenn auch nicht aller abgebrannten Brennstoffe. Nicht wiederaufbereitete abgebrannte Brennstoffe werden in La Hague gelagert, bis eine Entscheidung über die künftige Brennstoffkreislauf-Politik gefallen ist. Die derzeitige Politik in Bezug auf die Endlagerung von HAA wird durch das "Bataille Gesetz" von 1991 bestimmt, das bis 2006 drei parallele Forschungsprogramme in den Bereichen tiefe geologische Endlagerung, oberirdische Lagerung auf unbestimmte Zeit und P&T (partitioning & transmutation) vorsieht. Nach Ablauf dieses Zeitraums wird die Regierung eine Entscheidung treffen.
Deutschland	Infolge der Verabschiedung des neuen Gesetzes zum Ausstieg aus der Atomenergienutzung wird die Situation derzeit überprüft. In der Vergangenheit wurden Abfälle im tiefen Endlager Morsleben gelagert. Ziel der Endlagerungspolitik war ein einziges tiefes Endlager für alle Abfallkategorien. Im Mai 2002 wurde die Nutzung des Schachts Konrad genehmigt (obwohl dies umstritten ist), allerdings nur für Abfälle mit äusserst geringer Wärmeentwicklung.	Die im Anschluss an die Wiederaufbereitung aus La Hague oder Sellafeld rückgeführten verglasten Abfälle werden in Gorleben gelagert. Es gibt zentrale Lager für abgebrannte Brennstoffe, doch das neue Gesetzes zum Ausstieg aus der Atomenergienutzung befürwortet eine reaktorferne Lagerung an den KKW-Standorten und verbietet die Wiederaufbereitung nach Auslaufen der bestehenden Verträge. Zurzeit wird das Verfahren zur Auswahl der Standorte von Endlagern durch den Arbeitskreis Endlager (AkEnd) überprüft, einem Organ, das vom BMU eingerichtet wurde. Der Bericht des AkEnd soll Ausgangspunkt für den weiteren Ausbau der Endlagerungsmöglichkeiten für den gesamten radioaktiven Abfall Deutschlands sein. <sup>29</sup>
Schweden	Routinemässige Endlagerung in oberirdischen Anlagen in der Nähe von Kernanlagen oder in der oberflächennahen Anlage der SFR (=schwedisches Endlager für radioaktive Abfälle) in der Nähe des KKW Forsmark.	Alle abgebrannten Brennstoffe werden zentral in der Anlage CLAB bei Oskarshamn gelagert. Die zuständige Abfallentsorgungseinrichtung setzt ihre umfassenden Standortuntersuchungen fort. Geprüft werden zwei mögliche tiefe Endlagerstätten, mit Genehmigung der örtlichen Gemeinde und der Regierung.

Tabelle 5 Entsorgungsstrategien Finnland, Frankreich, Deutschland, Schweden

## 5.2. Lagerung in geologischen Schichten: Beurteilung des Forschungsstandes durch die NEA

"Progress Towards Geological Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand?"

Das RWMC der NEA stellte 1999 den Stand und die Fortschritte im Hinblick auf die Umsetzung von geologischen Endlagern zusammen: Das Konzept des geologischen Endlagers – ohne die Möglichkeit des Zurückholens – sei vor rund 40 Jahren entwickelt worden. Das Konzept trage dem Umstand Rechnung, dass es schwierig sei, die dauernde Überwachung langlebiger radioaktiver Abfälle sicherzustellen. Die NEA betonte, dass in den 90-er Jahren erhebliche Fortschritte im Verständnis der geologischen Endlager erzielt worden seien. Die Vergrösserung

<sup>29</sup> Die vom AkEnd erarbeitete Vorgehensweise zur Standortfindung stösst sowohl aus finanziellen als auch aus zeitlichen Gründen auf erheblichen Widerstand. Die vorgeschlagene Vorgehensweise sei nur geeignet für einen Staat, der sich erstmalig mit der Endlagersuche befasse und nicht für Deutschland, das in der Standortfindung schon weit fortgeschritten sei (Sander [2004]: 483).

des Wissens habe das Konzept nicht in Frage gestellt, sondern es vielmehr bestätigt. Die NEA beurteilte die vorhandene Technologie als ausreichend ("mature enough"), um ein Endlager zu bauen und zu betreiben. Die Wissenschafts- und Technologiecommunity im Entsorgungsbereich sei sich sehr sicher ("high level of confidence"), dass die technische Sicherheit von Endlagern erreichbar sei. Allerdings teile die Öffentlichkeit diese Ansicht häufig nicht. Die NEA stellte jedoch gleichzeitig fest, dass die ursprünglich vorgesehenen Zeitpläne alle zu optimistisch gewesen seien. Dies sei darauf zurückzuführen, dass die politischen, öffentlichen und regulatorischen Dimensionen des Projekts unterschätzt worden seien. Aus technischer Sicht sei jedoch keine Eile angesagt. Es sei erforderlich, die wissenschaftliche und technische Arbeit auf einem qualitativ hohen Niveau weiterzuführen (weitere Verfeinerung, Tests und Versuchsanlagen; Umsetzung der Erkenntnisse und Qualitätskontrolle unter Referenzbedingungen).<sup>30</sup>

Strategische Bereiche beim Management der radioaktiven Abfälle

Die NEA hat 1999 sechs strategisch wichtige Bereiche identifiziert:<sup>31</sup>

- Generelle Strategien des Abfallmanagements
- Verfahren zur Realisierung eines Endlagers
- Management der Entsorgung der Abfälle aus der Stilllegung der KKW und der sehr schwach radioaktiven Abfälle
- Wahrnehmung und Vertrauen der Öffentlichkeit<sup>32</sup>
- Mitwirkung bei der Ausarbeitung internationaler Leitlinien und Abkommen sowie deren Umsetzung
- Intensives und systematisches Verfolgen des technologischen Fortschrittes.

### 5.3. Internationale Konferenz über Probleme und Trends in der Entsorgung radioaktiver Abfälle (2002)

Vienna 2002:  
IAEO, EU-Komm. und NEA

Vom 9. bis zum 13. Dezember 2002 führte die IAEO in Zusammenarbeit mit der EU-Kommission und der NEA in Wien eine Konferenz über Vorhaben und Trends in der Entsorgung radioaktiver Abfälle durch.

Zusammenfassung des Konferenzleiters

Der Schweizer Prof. Dr. Alec Baer, welcher der Konferenz als Chairman vorstand, fasste die Ergebnisse – aus seiner Sicht – wie folgt zusammen:<sup>33</sup>

- Die laufenden Arbeiten konzentrieren sich auf hochaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente.
- Der Konsens wächst, dass Alternativen zur Endlagerung (d.h. zum Beispiel Oberflächenlagerung) nach den gleich strengen Sicherheitsmassstäben überprüft werden sollen wie die Endlagerung.
- Die soziopolitischen Argumente sprechen für Rückholbarkeit der Abfälle und für die Umkehrbarkeit (reversibility) der Lager, die technischen dagegen.

<sup>30</sup> Ganzer Abschnitt gemäss NEA (1999b).

<sup>31</sup> NEA (1999a).

<sup>32</sup> Das NEA-Forum on Stakeholder Confidence hat zum Thema Öffentlichkeitsarbeit und Partizipation Einflussfaktoren beschrieben, welche die Glaubwürdigkeit fördern, und solche, welche sie untergraben. Sie schlägt den Mitgliedstaaten Instrumente für eine glaubwürdige Kommunikation vor (NEA [2003d]: 13 ff).

<sup>33</sup> IAEA (2003): 563 ff.

- Die Konditionierung der Abfälle soll die Abfälle in eine definitive Form bringen.
- Nachdem der Grundsatz "keine unzulässige Lasten für zukünftige Generationen" noch an der Cordoba-Konferenz 2000 mehr oder weniger klar war ("jede Generation ist für ihre Abfälle selber verantwortlich"), wird heute darüber diskutiert, welche Lasten zulässig sind und damit den zukünftigen Generationen übertragen werden können.
- Die Diskussionen über institutionelle Kontrollen und Langfristigkeit haben aufgezeigt, dass eine Klärung der Begriffe erforderlich sei (z.B. regulatorische Kontrolle, aktive und passive institutionelle Kontrolle, aktives und passives Monitoring).
- Entsorgung radioaktiver Abfälle sollte nicht nur im Kontext der Kernenergie betrachtet werden. A. Baer rief dazu auf, Scheuklappen abzulegen.
- Zuwenig diskutiert würde die Finanzierung der Entsorgung.
- Zunehmend werden "Nicht-Entsorgungsfachleute" in die Diskussionen eingebunden.
- Die IAEO müsse entscheiden, ob sie nicht nur für die technischen, sondern auch die soziopolitischen Aspekte zuständig sei.

Zusammenfassung der IAEO

Die IAEO fasste die Tagung wie folgt zusammen:<sup>34</sup>

- Die Fortschritte in der Entsorgung der radioaktiven Abfälle wurden aufgezeigt, speziell registriert wurden die Fortschritte im Hinblick auf den Bau von Lagern für hochradioaktive Abfälle in Finnland und in den USA.
- Die Inkraftsetzung der Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management stellte gemäss Einschätzung der IAEO einen Meilenstein in der systematischen Verbesserung der Sicherheit bei der Entsorgung dar ("setting the stage for a process of systematic international improvement of waste management safety").
- Die Lagerung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente an der Oberfläche ist in vielen Staaten eine Realität. Einig war man sich an der IAEO-Konferenz, dass die Lagerung von hochaktiven und langlebigen mittelaktiven Abfällen an der Oberfläche nicht nachhaltig ist.
- Institutionelle Mechanismen zur Sicherung der Langzeitsicherheit und zur Bewahrung des Wissens stellen eine Herausforderung dar.
- Es sei erforderlich, die Bevölkerung in die Entsorgungsdiskussionen einzubeziehen.

#### 5.4. Geological Repositories: Political and Technical Progress (2003)

1999 wurde in Denver eine internationale Konferenz über die Fortschritte bei der Lagerung in geologischen Schichten durchgeführt. In Stockholm fand im Dezember 2003 eine weitere Konferenz zu diesem Thema statt.

Denver 1999  
Stockholm 2003

<sup>34</sup> IAEA (2003): Report on the International Conference on Issues and Trends in Radioactive Waste Management. Summary, 3 p.

Entwicklungen in der F+E

Die Fortschritte in der Forschung zu Lagern in geologischen Schichten und die offenen Fragen wurden von Dr. P. Zuidema, Nagra, zusammengestellt.<sup>35</sup>

- Die Lagerung in geologischen Schichten stellt in den meisten Ländern die akzeptierte Lösung dar. Das Konzept hat mittlerweile einen so hohen Stand erreicht, dass keine grundsätzlichen Fragen mehr offen sind, welche die Umsetzung ausschliessen könnten.
- In den letzten Jahren wurde in der Endlagerforschung den Bereichen Monitoring und Rückholbarkeit der Abfälle vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt.
- Zusätzlich zum Konzept der geologischen Tiefenlagerung wird in einigen Ländern Partitioning/Transmutation und die langfristige Zwischenlagerung untersucht.
- Die Methodik der Sicherheitsanalysen ist genügend weit fortgeschritten, um für die Entscheidungsfindung die notwendige sicherheitsbezogene Entscheidungsbasis bereitzustellen.
- Insgesamt ist die Entwicklung seit der Denver-Konferenz 1999 kontinuierlich verlaufen (Evolution und nicht "Revolution").

### 5.5. Euratom (6. Forschungsrahmenprogramm der EU)

Entscheidungen des Rates vom 30.09.02

Am 30.09.2002 hat der Rat zwei Programme beschlossen:

- ein (weiteres) spezifisches Programm für Forschung und Ausbildung auf dem Gebiet der Kernenergie 2002-2006 (2002/837/Euratom; ABI. L 294/74 vom 29.10.2002). Das Schwergewicht der geförderten Forschung liegt auf der Kernfusion. Nur rund 10% der Mittel (90 Mio. EUR für den Zeitraum 2002-2006) ist für die Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle vorgesehen.
- ein von der Gemeinsamen Forschungsstelle durch direkte Aktionen für die Europäische Atomgemeinschaft durchzuführendes spezifisches Programm für Forschung und Ausbildung 2002-2006 (2002/838/Euratom; ABI. L 294/86 vom 29.10.2003).

Im folgenden wird wörtlich wiedergegeben (Übersetzung durch die EU), was im Anhang 1 ("Wissenschaftliche und technologische Ziele sowie Grundzüge der Tätigkeiten") der erstgenannten Ratsentscheidung zur Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle geplant ist:

Ziele

Das Fehlen eines Konzepts für den Umgang mit Abfällen und deren Entsorgung, über das allgemein Einigkeit herrscht, ist eines der Haupthindernisse für die weitere und künftige Nutzung der Kernenergie. Dies gilt insbesondere für die Bewirtschaftung und Entsorgung langlebiger Abfallkomponenten in geologischen Endlagern, die unabhängig davon, welche Behandlungsmethode für den abgebrannten Brennstoff und den hochaktiven Abfall gewählt wird, benötigt werden. Forschung alleine kann nicht gesellschaftliche Akzeptanz herbeiführen; allerdings benötigt man sie, um die Endlagertechniken zu entwickeln und zu erproben, geeignete Standorte zu untersuchen, das wissenschaftliche Grundverständnis über die Sicherheit und Sicherheitsbeurteilungsmethoden auszubauen und Entscheidungsprozesse zu entwickeln, die von den Beteiligten als fair und gerecht angesehen werden.

<sup>35</sup> Zuidema (2003): Overview of progress achieved on scientific issues since the 1999 Denver Conference and review of pending key issues. Zusammenfassung und Folien für den am 9.12.2003 in Stockholm gehaltenen Beitrag (zitiert nach der CD-Rom aller Tagungsbeiträge, Übersetzung durch A. Keel).

Forschungsarbeiten sind ausserdem erforderlich, um das technische und wirtschaftliche Potenzial von Kernenergieerzeugungskonzepten zu ermitteln, die eine bessere Ausnutzung des Spaltmaterials und die Reduzierung des Abfallaufkommens sowie die Trennung und Transmutation im grosstechnischen Massstab zur Verringerung der mit den Abfällen verbundenen Risiken ermöglichen.

#### Forschungsprioritäten

##### i) Forschungsarbeiten über die Entsorgung in geologischen Formationen

Die Ziele liegen darin, eine solide technische Grundlage für den Nachweis der sicheren Entsorgung abgebrannter Brennstoffe und langlebiger radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen zu erarbeiten und die Entwicklung einer gemeinsamen europäischen Sichtweise für die wichtigsten Fragen im Zusammenhang mit der Abfallbewirtschaftung und -entsorgung zu unterstützen.

- Ausbau der Grundkenntnisse sowie Entwicklung und Erprobung von Technologien: Im Mittelpunkt der Forschung werden folgende Themen stehen: zentrale physikalische, chemische und biologische Prozesse; Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen natürlichen und technischen Barrieren und deren langfristige Stabilität sowie Mittel zum Einsatz von Entsorgungstechnologien in unterirdischen Forschungslaboratorien.
- Neue und verbesserte Instrumente: Im Mittelpunkt der Forschung werden folgende Themen stehen: Modelle für die Eignungs- und Sicherheitsbewertung sowie Methoden zum Nachweis der langfristigen Sicherheit (einschliesslich Empfindlichkeits- und Unwägbarkeitsanalysen), Entwicklung und Bewertung alternativer Eignungsmassstäbe und besserer administrativer Prozesse, die den Bedenken der Öffentlichkeit gegenüber der Abfallentsorgung angemessen Rechnung tragen.

##### ii) Trennung und Transmutation und andere Konzepte zur Abfallvermeidung bei der Kernenergienutzung

Hier geht es darum, praktische Möglichkeiten für die Verringerung der Menge der zu entsorgenden Abfälle und/oder der von ihnen ausgehenden Gefahren durch Trennung und Transmutation zu bestimmen und das Potenzial von Konzepten zur Abfallvermeidung bei der Kernenergienutzung zu erkunden.

- Trennung und Transmutation: Im Mittelpunkt der Forschung werden folgende Themen stehen: grundlegende Bewertungen des Gesamtkonzepts; Demonstration der aussichtsreichsten Trennungstechnologien im Rahmen eines Pilotprojekts; Weiterentwicklung von Transmutationstechnologien und Bewertung ihrer praktischen Anwendbarkeit.
- Konzepte zur Abfallvermeidung: Im Mittelpunkt der Forschung wird die Ermittlung des Potenzials für eine effizientere Nutzung des Spaltmaterials in bestehenden Reaktoren sowie anderer Konzepte zur Abfallvermeidung bei der Kernenergienutzung stehen.

Die Gemeinsame Forschungsstelle hat bis 2006 im Bereich "Behandlung und Lagerung abgebrannter Brennstoffe und hochaktiver Abfälle drei Schwerpunkte:

- Ausbau ihrer Kenntnisse über Aktinide und aktinidenhaltige Erzeugnisse im Bereich der Grundlagophysik, der Chemie und der Werkstoffwissenschaften;
- Nähere Untersuchungen der grundlegenden Vorgänge, die das Verhalten abgebrannter Brennstoffe bei der Zwischenlagerung oder langfristigen Lagerung in geologischen Formationen bestimmen;
- Erprobung und Bewertung von Prozessen, mit denen sich die effiziente Trennung radiotoxischer Elemente aus abgebranntem Brennstoff und die anschliessende Wiederaufbereitung der dabei entstandenen Produkte verbessern lassen.

Bisher werden im Rahmen des 6. Forschungsrahmenprogramms im Bereich Entsorgung radioaktiver Abfälle folgende Projekte gefördert (abrufbar unter [www.cordis.lu](http://www.cordis.lu)):

<i>Projekt-Titel</i>	<i>Projekt-Inhalt</i>
Impact of Partitioning and Transmutation and Waste Reduction Technologies on the	Partitioning, transmutation and conditioning (P & T/C) and waste reduction technologies, if implemented properly and in full consultation with the geological disposal community, are expected to significantly reduce the burden associated with radioactive waste management and disposal. P&T is likely to ease the final repository requirements and it will also contribute to the sustainability of nuclear energy in those countries that pursue this source

<i>Projekt-Titel</i>	<i>Projekt-Inhalt</i>
Final Nuclear Waste Disposal (RED-IMPACT)	<p>of energy.</p> <p>The objectives of this 3-year RED-IMPACT project (Total budget 4 M including EC contribution of 2 M) are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assess the impact of P&amp;T on geological disposal and waste management;</li> <li>- Assess economic, environmental and societal costs/benefits of P&amp;T;</li> <li>- Disseminate results of the study to stakeholders (scientific, general public and decision makers) and get feedback during the course of the study;</li> <li>- Iterate and refine the work based on stake-holders' feedback to achieve full impact of this study on the implementation of the waste management policy of the European Community.</li> </ul> <p>The work of the project is subdivided into six work packages:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- WP1: Waste management and transmutation strategies will be reviewed and a number of representative scenarios will be selected for in-depth impact studies;</li> <li>- WP2: Feasibility of the industrial deployment of selected scenarios will be made and their impact on waste management will be studied;</li> <li>- WP3: Assessment of waste streams, waste features, leach resistance, heat generation, reprocessing capability etc will be studied for selected fuel cycles;</li> <li>- WP4: Assessment will be made of the benefits and costs of P&amp;T/C in advanced fuel cycles for waste management and geological disposal;</li> <li>- WP5: Economic, environmental and societal assessment of fuel cycle strategies will be performed;</li> <li>- WP6: Synthesis and dissemination of results of the above studies will be made to stakeholders.</li> </ul> <p>At its completion, the present project is expected to provide a major advance to the P&amp;T research by producing and disseminating a comprehensive and coherent assessment of environmental and societal costs, benefits and difficulties of the deployment of P&amp;T, conditioning and waste reduction technologies for nuclear waste management.</p>
Understanding and physical and numerical modelling of the key PROCESSES IN THE NEAR-FIELD and their coupling for different host rocks and repository strategies (NF-PRO)	<p>The principal objective of NF-PRO is to establish the scientific and technical basis for evaluating the safety function "containment and minimisation of release" of the near-field of a geological repository for high-level radioactive waste and spent fuel. To this end, NF-PRO will investigate dominant processes and process couplings affecting the isolation of nuclear waste within the near-field and apply and develop conceptual and mathematical models for predicting the source-term release of radionuclides from the near-field to the far-field. Results and conclusions of experimental and modelling work will be integrated in performance assessment.</p> <p>To understand the performance of the overall near-field system, an adequate insight in both the performance of the individual near-field sub-systems and their interactions is essential. Accordingly, the Integrated Project NF-PRO has been structured in five Research and Technology Development Components (further referred to as RTD Components) each representing a major near-field sub-system. In particular, RTD Components 1 to 4 address key processes controlling dissolution of and release from the waste matrix, chemical processes taking place in the Engineered Barrier System (EBS), the thermo-hydrromechanical (THM) evolution of the EBS and the characteristics and the evolution of the excavation disturbed zone (EDZ), respectively. Process couplings and integration in performance assessment (PA) are dealt with in RTD Component 5. This RTD component will play a pivotal role in IP NF-PRO. At the initial phase of NF-PRO, RTD Component 5 will provide a realistic description of the evolution of the conditions in the near-field in view of identifying key processes and remaining uncertainties to be addressed by RTD Components 1 to 4. Throughout the project, RTD Component 5 will analyse macroscopic mass and energy flows and integrate the outcome of RTD Components 1 to 4 in PA through 'Integration Exercises'. These exercises will be performed for the main potential host rocks currently investigated for HLW disposal in the EU: clay, granite and salt. In addition to the scientific-technical objectives, the consortium will make the acquired data, knowledge and expertise available and accessible to the broad scientific community within the EU and NAS, use its expertise for public information purposes and promote knowledge and technology transfer through training. Component 6 brings together all activities concerning training (including knowledge management and transfer).</p>
COmmunity Waste Management 2 : Improving the Governance of Nuclear Waste Management and Disposal in Europe (COWAM 2)	<p>The objective of COWAM 2 is to contribute to the actual improvement of the governance of Radioactive Waste Management (RWM) in order to address the issue of geological waste disposal in Europe, by:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Better addressing and understanding societal expectations, needs and concerns as regards radioactive waste decision making processes, notably at local and regional levels, taking advantage of the past and ongoing successful and unsuccessful experiences of RWM in the concerned European countries;</li> <li>- Increasing societal awareness of and accountability for RWM at local, national and European levels, creating the conditions for an improved dialogue among representatives of civil society and the traditional public and</li> </ul>

Projekt-Titel	Projekt-Inhalt
	<p>private actors of RWM;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Developing guidance on innovative democratic governance of RWM, integrating local, national and European levels of decision as well the key non technical and technical dimensions involved;</li> <li>- Developing best practices and benchmarking on practical and sustainable decision making processes recognised as fair and equitable by the stakeholders involved at the local, national and European levels as well as consistent on the short, medium and long term of RWM;</li> <li>- Contributing to enable European societies to make actual progress in the governance of RWM, in order to reach practicable, accountable and sustainable decisions.</li> </ul> <p>COWAM 2 will aim at broad involvement of actors from civil society (with significant representation of local communities, elected representatives, and NGOs, as well as social and natural scientists from outside RWM institutions) together with the traditional actors in the field such as the implementers of RWM, the Public Authorities, experts and waste producers. COWAM 2 specifically addresses the objectives of Euratom Work Programme "to better understand what influences public acceptance and develop guidance for the improved governance of geological waste disposal". Grounding on the results of the COWAM 1, RISCO, NEA FSC and other relevant experiences, the project will enlarge the base of experience in the field, in providing a critical analysis of past and current decision-making processes on waste management including geological disposal as well as other technical options.</p> <p>COWAM 2 work programme will be developed through four thematic work packages on:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- implementing Local Democracy and Participatory Assessment Methods;</li> <li>- Influence of Local Actors on the National Decision-making process;</li> <li>- Quality of Decision-making processes;</li> <li>- Long term Governance</li> </ul> <p>Three other work packages will provide services (integration, networking, management). The activities in the four thematic work packages will be carried out in close partnership between experts and stakeholders. Stakeholders will participate in the orientation of research, as well as in checking and reviewing the results both at work package level, and at the overall project level. This innovative process will ensure that the Work Package activities progress in consistency with the overall COWAM 2 objectives and that they address in practical terms stakeholders' concerns. Third parties will contribute funding for stakeholder participation and the organisation of seminars.</p>
<p>Network for Actinide Sciences (ACTINET-6)</p>	<p>One major issue for nuclear energy, requiring intensive R&amp;D programs, remains a broadly agreed approach to waste management, in particular long-lived waste components. R&amp;D is also needed to explore new concepts for nuclear energy generation that make better use of fissile material and generate less waste. Actinide science is one central theme to respond to these needs. Few laboratories in Europe possess knowledge and tools in actinide science, none of them covers the full spectrum at the scale required by the technical challenges, and they few interact. Existing and future knowledge and tools in Europe should therefore undergo a process towards integration and optimisation. In this context, the general objective of ACTINET is to gather the concerned scientific community through a network, aiming to reach sustainability in a few years. Knowledge dissemination, education and training activities through the network will ensure highest level of expertise in Europe. Transnational access to experimental facilities will valorise existing and future facilities and optimise their use. In general, research and education networking will revitalize actinide science, facilitate the development of joint European scientific programmes, and make the field more attractive to young scientists.</p> <p>More specifically, the goals of ACTINET are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- coordinate the use of major actinide facilities to the European scientific community;</li> <li>- improve human mobility between member institutions, in particular between academic institutions and national laboratories;</li> <li>- promote excellence through a selection process of R&amp;D and training activities.</li> </ul> <p>These goals will be achieved through procedures allowing the pooled facilities to operate as a multi-site User Facility, including selection of proposals for research, education and training on a competitive basis. An initial joint program of activities, agreed among the community, will allow launching the Network operation for the first eighteen months.</p>
<p>EUROpean research program for the PARTitioning of minor actinides and some long-lived fission products from high</p>	<p>For the management of nuclear spent fuels, several European countries choose the closed fuel cycle involving reprocessing. The nuclear wastes, i.e. the fission products and the minor actinides (Np, Am and Cm), issuing the reprocessing are vitrified. In the future, the vitrified nuclear wastes are supposed to be disposed of into deep geological repositories, but the selection of the sites for these repositories should consider the fact that these vitrified wastes contain Long-Lived Radionuclides (LLR), essentially belonging to the family of the actinide elements (An), which induce important radiotoxicity for the long-term. The elimination of these LLR from the vitrified</p>

Projekt-Titel	Projekt-Inhalt
active wastes issuing the reprocessing of spent nuclear fuels (EUROPART)	<p>wastes will induce a large decrease of the long-term radiotoxicity of these wastes and will simplify the selection of geological sites. The research to be done within the EUROPART research programme concerns the Partitioning of the actinides that are contained in the nuclear wastes issuing the reprocessing of nuclear spent fuels. After separation, the actinides will be either destroyed into short-lived or stable nuclides by nuclear means (Partitioning &amp; Transmutation, P&amp;T strategy) or conditioned into stable dedicated solid matrices (Partitioning &amp; Conditioning, P&amp;C strategy). The selected elements for partitioning will be the so-called minor actinides (MA), from Am through Cf, but in the case of the treatment of dedicated spent fuels or targets the actinides to be separated also include U, Pu and Np.</p> <p>The separation techniques of these radionuclides to be studied will belong to two fields: 1/ hydrometallurgy, 2/ pyrometallurgy, which arise out of the previous FP5 programmes.</p> <p>The main axes for the research for both hydrometallurgy and pyrometallurgy will be:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. the Partitioning of MA = Am-Cf from high burn-up UOX and multi-recycled MOx fuels;</li> <li>2. the Partitioning of all actinides together for recycling, for advanced dedicated fuel cycles, i.e. double strata concept, ADS (Accelerator Driven System).</li> </ol> <p>In hydrometallurgy, the research is organised in 5 WorkPackages (WP). Four WP are dedicated to the study of Partitioning methods mainly based on the use of solvent extraction methods, one WP is dedicated to the development of An co-conversion methods for fuel or target preparation.</p> <p>The research in pyrometallurgy is organised into 4 WP. The subjects of these WP are the following: (i) two WP concern the development of An Partitioning methods, and one of these 2 WP (i.e WP7) also includes the study of the basic chemistry of trans-curium elements in molten salts, (ii) one WP concerns the study of the conditioning of the wastes and, (iii) the last WP is dedicated to system studies.</p> <p>Moreover, a strong management team will be concerned not only with the technical and financial issues arising from EUROPART, but also with information and communication, Science and Society, gender issues and benefits for Europe. Training and education of the young researchers will also constitute an important part of the project. Processes for possible industrialisation of Partitioning strategies will be defined.</p>
Support Action: Pilot Initiative for European Regional Repositories (SAPIERR)	<p>Some small nuclear power programmes in the expanded EU may not have the resources or the full range of expertise to build their own repositories for long-lived radioactive wastes. Even for countries that could potentially implement national projects, there are environmental and economic advantages in co-operation. The prospect that countries could work together to explore regional solutions is raised in the draft of the EC radioactive waste Directive. Such solutions raise new trans-national issues of safety and governance, not so far addressed by national programmes in the European research area: nuclear security, safety of multi-user repositories with diverse waste types, national &amp; European public acceptability, trans-boundary waste transport and national &amp; European economics and law.</p> <p>SAPIERR is a pilot initiative to help the EC to begin to establish the boundaries of the issue, collating and integrating information in sufficient depth to allow concepts for potential regional options to be identified and the new RTD needs to be scoped. Possible future programme components and structures will be suggested. SAPIERR will bring together Member States and Candidate Countries wishing to explore the feasibility of regional European solutions. Specific proposals for regional facilities, including potential siting are not part of this initial pilot study. The work is aimed at establishing the boundary conditions for such collaboration and the implications in an enlarged European Community. The development of a geological repository is a very long-term project with an overall duration of decades. Given the rapid geopolitical development in Europe, the socio-political reservations concerning multinational repositories that have been expressed by some countries may well have been overcome by the time of actual construction, and the environmental and economic advantages of these solutions may prevail over the political problems. The work will involve a working group of interested countries, data gathering and analysis. Scenarios and possible concepts for European storage and disposal will then be identified as well as related RTD needs to propose mechanisms for developing strategy options and future EU research programmes. Project findings will be reported to the EC also at an international seminar at the conclusion of the project. A commitment to participate in the working group and to supply relevant national data has already been signalled by organisations from some EU Member States and from numerous Candidate Countries. Progress will be posted on the Internet. Regional repositories are also of interest outside Europe but have been little studied. SAPIERR will put the EU in a leading position to provide advice and, possibly, services to other countries.</p>
Engineering Studies and Demonstrations of Repository Designs (ESDRED)	<p>The Integrated Project ESDRED, a joint research effort by major national radioactive waste management agencies (or subsidiaries of agencies) and by research organisations, representing nine European countries, is a major step to establish a sound technical basis for demonstrating the safety of disposing spent fuel and long-lived radioactive wastes in deep geological formations and to underpin the development of a common European view on the main issues related to the management and disposal of waste.</p> <p>The overall objective of the Integrated Project ESDRED over 5 years is to demonstrate the technical feasibility at an industrial scale for activities carried out to construct, operate and close a deep geological repository, and at</p>

Projekt-Titel	Projekt-Inhalt
	<p>the same time comply with requirements on long-term safety, operational safety, retrievability and monitoring.</p> <p>This programme provides the opportunity for RW management organisations to work together efficiently to generate solutions, systems and technologies which can be shared.</p> <p>This project focuses on four activities that are addressed today neither by existing nor by easily adapted technologies of mining, civil and nuclear engineering:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- buffer construction: manufacturing and construction of an engineered barrier system for horizontal disposal drifts;</li> <li>- waste canister transfer and emplacement into horizontal and vertical disposal cells;</li> <li>- heavy load emplacement in horizontal disposal drifts;</li> <li>- temporary sealing: reinforcing and plugging drifts with low-pH cementitious materials, Monitoring and retrievability at all steps of repository construction, operation and closure are considered in this exercise and integrated in the relevant technical modules.</li> </ul> <p>Each technology is developed within one technical module to provide an access to various industrial solutions compatible with national repository concepts and geological specificity. Training and communication activities are developed across all modules.</p>

Tabelle 6 EURATOM-Forschung, 6. Forschungsrahmenprogramm, Bereich Entsorgung radioaktiver Abfälle

## 5.6. Schweden

Das aktuelle schwedische F+E-Programm 2001 (Programme for research, development and demonstration of methods for the management and disposal of nuclear waste) enthält eine Beurteilung über den Forschungsbedarf und die Forschungsschwerpunkte. Im Folgenden werden die Hauptaussagen der Zusammenfassung übersetzt und mit Randnotizen ergänzt (SKB 2001: S. 5-9):

2001: Weiterentwicklung und nicht Neuausrichtung der Forschung	Das Forschungsprogramm 2001 ist eine Weiterentwicklung des Forschungsprogramms 1998. Auf eine grundsätzliche Neuausrichtung wurde verzichtet. Es war nicht möglich, alle Anliegen, welche die Aufsichtsbehörden in ihrer Sicherheitsprüfung des SR 97 einbrachten, zu berücksichtigen.
Baubeginn Endlager: 2015	Das Ziel für SKB ist der Baubeginn für ein geologisches Endlager im Jahr 2015. Die Einlagerung soll ab ungefähr 2020 beginnen. Die zukünftigen Forschungsprogramme werden ihren Schwerpunkt voraussichtlich auf anderen Themen haben (2004: Immobilisierung und Konditionierung. 2007: Lagerung in geologischen Schichten und mögliche Alternativen zur Lagerung in geologischen Schichten).
Interdependenz Forschung und Endlagerprojekte	Sicherheitsanalysen, Forschung und Auslegung der Endlager sind Themen, welche eng miteinander verbunden und gegenseitig voneinander abhängig sind. So kann eine Sicherheitsanalyse erst durchgeführt werden, wenn die Auslegung eines Endlagers bekannt ist. Die Resultate der Sicherheitsanalyse dienen dazu, die Auslegung zu verbessern und Aussagen über die erforderliche Forschung zu machen.
Forschungsschwerpunkt im F+E-Programm 2001	Schwerpunkt des Forschungsprogramms 2001-2004 ist der Transport von in Wasser gelösten Radionukliden. Diffusionsprozesse setzen ein, wenn die Behälter versagen, d.h. erst nach vielen Jahrhunderten. Die Forschung an den Behältern,

welche bereits weit fortgeschritten ist, ist deshalb weiterzuführen. Im Äspö-Felslabor werden weitere Studien durchgeführt, um das Verhalten der Bentonit-Verfüllung zu untersuchen. Im Weiteren ist zu untersuchen, wie der Verschluss von Tiefenlagern auf den Einfluss von Salzwasser reagiert.

Geosphäre, Biosphäre, Klima	<p>Weitere Untersuchungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geologie: Alle bekannten postglazialen Verwerfungen werden dokumentiert und geprüft.</li> <li>- Biosphäre: Der Transport von Radionukliden in der Biosphäre (Wälder, Moore, Sedimentschichten) wird untersucht.</li> <li>- Klima: Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen werden untersucht (Permafrost, Vergletscherung)</li> <li>- Als Ergänzung zur spezifischen Entsorgungsforschung werden natürliche Analogie erforscht, welche Hinweise auf die Langzeitentwicklung geben können.</li> </ul>
Felslabor Äspö	<p>Die Forschungen im Versuchslabor in Äspö werden auch weiterhin zentral sein (z.B. Verfüllung, Verschluss, Entwicklung von Technologie, Demonstration). Es wird ein Prototyp-Endlager eingerichtet.</p>
Methodenkenntnis; Instrumente	<p>Soweit möglich werden bestehende Instrumente und Methoden eingesetzt. Zum Teil ist es jedoch erforderlich, Instrumente und Methoden zu verfeinern/verbessern oder zusätzliche zu entwickeln (z.B. GPS, seismische Messungen, Messungen während des Bohrens, hydrologische Messungen etc.).</p>
Behälter	<p>Die Anlage, in welcher die hochaktiven Abfälle in Kupferbehälter verpackt werden, muss entwickelt werden. Es werden noch verschiedene Schweiß-Verfahren getestet.</p>
Alternative Methoden	<p>Obwohl sich Schweden für das Konzept der geologischen Endlagerung entschieden hat, wird die internationale Forschung zu alternativen/ergänzenden Methoden (Partitioning und Transmutation) weiterhin verfolgt.</p>

### 5.7. Finnland

Das den Autoren vorliegende aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprogramm der Posiva, dem finnischen Pendant der Nagra, für den Standort Olkiluoto stammt aus dem Jahr 2000. Seine Hauptziele sind:<sup>36</sup>

- Beurteilung der Standorteignung und Bestätigung der Wirtsgesteinseigenschaften
- Beurteilung der ausreichenden Mächtigkeit des Wirtsgesteins
- Charakterisierung der Wirtsgesteinseigenschaften
- Testen der Konstruktionspläne für das Endlager
- Planung und Testen des Verfahrens
- Aufzeigen der angewendeten Technologie und Methoden

<sup>36</sup> Zitiert nach Posiva (2003b): 7.

- Reduktion der Unsicherheiten bei den Konzepten und Abbau überflüssiger konservativer Annahmen durch den Einbezug von in-situ-Informationen
- Weiterführen der Oberflächenuntersuchungen
- Monitoring des Endlagerstandorts und des Wirtsgesteins
- Verfeinerung der Umweltverträglichkeitsprüfung
- Wissensmanagement

Dieses Programm wurde von der finnischen Sicherheitsbehörde (STUK) geprüft und von einem internationalen Expertenteam reviewt. STUK verlangte von der Posiva folgende Korrekturen/Ergänzungen:<sup>37</sup>

- Ein logischer Rahmen sei für die F+E-Planung erforderlich, in dem die wegweisenden Prinzipien und die Mittel zur Identifizierung und zur Priorisierung von F+E erläutert werden sollten.
- Es sei genügend Zeit einzuplanen.
- Es sei in Zusammenarbeit mit STUK zu planen, wie der Zugang zu den Grunddaten gewährleistet werde.
- Ein schrittweises Prognose-Bestätigungs-Programm solle erwogen werden.
- Die Bedingungen für das Baseline-Szenario seien klar zu definieren.
- Mechanismen des Radionuklidtransports seien bereits in dieser Phase zu studieren.
- Es sei ein besseres Verständnis der Grundwasserchemie (zukünftige Veränderungen) nötig. Die Wechselwirkungen zwischen geochemischen und hydrogeologischen Prozessen seien zu betrachten.
- Die Korrosion der Kupferbehälter unter den besonderen Bedingungen erfordere zusätzliche Studien.

F+E-Planung

Posiva ist aktuell daran, einen Rahmen für die F+E-Planung zu entwickeln. Die F+E-Massnahmen werden auf der Basis des Sicherheitskonzepts priorisiert. Um die F+E-Planung systematischer zu machen, wird ein Konzept entwickelt, das die Verbindungen zwischen der tatsächlichen Auslegung und den Auslegungsanforderungen aufzeigt ("Requirement Management System). Dieses Management System soll in Zukunft als Grundlage für die F+E-Planung und -Berichterstattung verwendet werden.<sup>38</sup>

### 5.8. Deutschland<sup>39</sup>

Ziele der Sicherheitsforschung

In Deutschland stützt sich die Sicherheitsforschung zur nuklearen Entsorgung auf Szenarien, welche zu einer Minimierung und Vermeidung radioaktiver Rückstände, zur Verringerung des Gefahrenpotentials der endzulagernden Stoffe und zu einer wissenschaftlich fundierten, langfristigen Sicherheitsbewertung für die Endlagerung radioaktiver Rückstände führen sollen. Die Arbeiten sind langfristig bis etwa 2030 geplant.

<sup>37</sup> Posiva (2003a): 9.

<sup>38</sup> Posiva (2003a): 9 f.

<sup>39</sup> Ganzer Abschnitt nach Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft (2002).

Speziell: Endlagerforschung	Die "Endlagerforschung" hat zum Ziel, eine geeignete Endlagerformation zu wählen sowie ein Endlager zu errichten und zu betreiben. Die Forschungsarbeiten zur Endlagerung werden unter der Verantwortung der Bundesregierung, die – im Gegensatz zur Schweiz – für den Bau des Endlagers zuständig ist (§ 9a Abs. 3 Atomgesetz), durchgeführt. <sup>40</sup>
Charakterisierung, Konditionierung und Immobilisierung	Es sind folgende Forschungstätigkeiten geplant: <ul style="list-style-type: none"><li>- Theoretische Untersuchungen und technische Entwicklungen über die Charakterisierung, Konditionierung und Immobilisierung von radioaktiven Abfällen</li><li>- Entwicklung neuer Verfahren zur Minderung der Radiotoxizität hochradioaktiver Abfälle (Abtrennung und Umwandlung)</li></ul>
Endlagerung	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ausarbeitung der Grundsätze einer wissenschaftlich begründeten langfristigen Sicherheitsanalyse (Ziel: Langzeitsicherheitsnachweis)</li><li>- Übertragung der F+E-Ergebnisse auf den Bau und den Betrieb eines Endlagers</li></ul>

---

<sup>40</sup> Eine Neuordnung der Verantwortlichkeiten ist geplant ("Verbandslastmodell"): Alle AKW-Betreiber würden Mitglied in einem öffentlich-rechtlichen Verband. Der Bund übertrüge dem Verband die Aufgabe, ein Endlager einzurichten. Der Verband müsste alle Kosten übernehmen – auch die erforderliche Beteiligung der Bevölkerung. Der Bund würde sich grundsätzlich auf die Überwachung und Genehmigung beschränken. (Rede des Bundesumweltministers Jürgen Trittin am 07.10.2003 anlässlich des 12. Deutschen Atomrechts-Symposium, abrufbar unter [www.bmu.de](http://www.bmu.de)).

## 6. Forschungsaktivitäten Schweiz

### 6.1. Nagra, insbesondere Entsorgungsnachweis 2002, sowie GNW

#### Grundanforderungen

Die Entsorgungsforschung in der Schweiz muss die schweizerischen Verhältnisse (Rechtsvorschriften, insbesondere Entsorgungskonzept, sowie Geologie) und den internationalen technischen und wissenschaftlichen Erkenntnisstand berücksichtigen. Hauptträger dieser Forschung ist die Nagra, welche in den letzten 30 Jahren eine enge Zusammenarbeit mit verschiedenen schweizerischen (z.B. PSI, Uni Bern, ETH Zürich) und ausländischen Forschungsinstitutionen etabliert hat.

#### Abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle

Der aktuelle Stand der Nagra-Forschung für den Bereich Endlager für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle kann, da diese Forschung grundsätzlich den Nachweis bezweckt, dass die Tiefenlagerung in der Schweiz möglich ist, in den Syntheseberichten zum Projekt "Opalinuston" (2002) eingesehen werden (Entsorgungsnachweis):

- Geowissenschaftliche Untersuchungsergebnisse (Nagra 2002a)
- Konzept für die Anlage und den Betrieb eines Tiefenlagers (Nagra 2002b)
- Safety Report (Nagra 2002c)

Der Bundesrat wird voraussichtlich 2006 zum Entsorgungsnachweis Stellung nehmen.

#### Ergebnisse Geowissenschaft

Die Nagra kam in der Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse zum Schluss, dass "die geologische Situation des Untersuchungsgebietes die Anforderungen an ein mögliches Standortgebiet [erfüllt]. Es gibt keine geowissenschaftlichen Erkenntnisse, welche die Realisierung und Sicherheit eines Tiefenlagers im Zürcher Weinland grundsätzlich in Frage stellen."<sup>41</sup> Obwohl der Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle gemäss Beurteilung der Nagra grundsätzlich erbracht wurde, identifizierte die Nagra einige Ungewissheiten, welche durch zusätzliche Forschungsaktivitäten zu reduzieren seien (S. 621 ff.):

- Standorterkundung: gezielte Abklärungen z.B. bezüglich bautechnischer Verhältnisse in grösserer Tiefe
- Stofftransporteigenschaften und -prozesse: Laborversuche und Experimente im Felslabor Mont Terri für ein vertiefteres Verständnis der Diffusionsprozesse
- Selbstabdichtungsvermögen: Untersuchungen im Felslabor Mont Terri
- Geochemische Bedingungen: Vertiefung der Kenntnisse z.B. zum Redoxpotential oder pH/pCO<sub>2</sub> durch Anwendung besserer Methoden
- Gasfreisetzung: Verbesserung des Kenntnisstandes bezüglich Gasfreisetzung durch weitere Laborversuche und komplexere Feldexperimente
- Bautechnische Eigenschaften, Felsmechanik: Referenztiefe 600 ± 50 m. Für weitere Tiefen und für ein besseres Verständnis der bautechnischen Erfahrung

<sup>41</sup> Nagra (2002a): 623.

gen von Tunnelbauten in grösserer Tiefe sind zusätzliche Untersuchungen erforderlich.

#### Sicherheitsanalyse

In der Sicherheitsanalyse im Rahmen des Entsorgungsnachweises wird begründet, warum die Sicherheit gewährleistet ist:<sup>42</sup>

- Die geologische Tiefenlagerung eignet sich als Entsorgungsoption (weltweit anerkanntes Konzept; in der Schweiz sind geeignete Gesteinsformationen vorhanden; weltweit durchgeführte Sicherheitsanalysen; Beobachtungen an natürlichen Systemen; Vorteile gegenüber anderen Optionen).
- Die Sicherheit und Robustheit des Lagersystems wird gewährleistet (passive Barrieren; Vermeidung von Ungewissheiten; Langzeitstabilität).
- Die Wahrscheinlichkeit eines menschlichen Eindringens ist klein und die möglichen Auswirkungen eines Eindringens sind mässig (Archivierung von Informationen; Vermeidung von Rohstoffkonflikten durch Standortwahl; Bildung von Kompartimenten für die einzelnen BE/HAA-Behälter; Verfestigung der Abfälle).
- Die Realisierung eines geologischen Tiefenlagers erfolgt schrittweise (in der gegenwärtigen Phase muss das System noch nicht in allen Details festgelegt werden, so dass nicht alle Fragen im Detail zu klären sind; Sicherheitsnachweis kann sich auf heute gut verstandene und zuverlässig charakterisierte Komponenten abstützen; Einbezug der Beteiligten; Möglichkeit zur Berücksichtigung der Verbesserungsvorschläge; flexibles Projekt; Möglichkeiten zur Überwachung; Möglichkeiten zur Rückgängigmachung der Entscheide).
- Die hohe Qualität des wissenschaftlichen Kenntnisstand ist begründet (belastbare Ergebnisse der Felduntersuchungen; Experimente in Felslabors; Beobachtungen aus dem Tunnelbau; Erfahrungen aus mehr als 20 Jahren Entwicklung; detailliertes modellhaftes Inventar für BE, HAA und LMA)
- Bewährte Methodik, Modelle, Rechencodes und Datensätze für die Analyse.
- Erfüllen der behördlichen Vorgaben (Dosismaxima unterhalb der festgelegten Schutzziele, Verschluss innerhalb weniger Jahre möglich; Umsetzung des EKRA-Konzeptes).
- Verwendung alternativer Sicherheitsindikatoren (Vergleich Radiotoxizität der Abfälle mit der Radiotoxizität natürlicher Materialien; Vergleich potentieller Radiotoxizitätsflüsse aus dem Tiefenlager mit natürlichen Radiotoxizitätsflüssen; Vergleich potentieller Radiotoxizitätskonzentrationen am oberen Rand des Opalinuston mit der natürlichen Radiotoxizitätskonzentration im Opalinuston; Evaluation der Verteilung der Radiotoxizität in den verschiedenen Systemkomponenten als Funktion der Zeit).
- Einige positiv zur Sicherheit beitragende Phänomene wurden in den durchgeführten Analysen nicht berücksichtigt.
- Vereinfachte konservative oder pessimistische Darstellung des Systems.
- Keine ungeklärten Fragen, welche die Sicherheit grundsätzlich in Frage stellen könnten.

---

<sup>42</sup> Nagra (2002c): XXI.

Sicherheitsanalyse:  
Fazit Nagra

Die Nagra kam zum Schluss, dass:<sup>43</sup>

- der Referenzstandort Eigenschaften aufweist, welche die Sicherheit gewährleisten;
- das System robust ist;
- die Informationsbasis bezüglich der Abfälle und dem System der technischen Barrieren gut ist.

NEA Peer Review des  
Entsorgungsnachweises  
2002

Ein internationales Expertenteam (International Review Team, IRT) hat die Sicherheitsanalyse überprüft und ist zu folgenden Schlüssen gekommen:<sup>44</sup>

- Die Verwendung mehrfacher Barrieren stimme mit den Entsorgungskonzepten anderer Länder überein.
- Das Vorgehen bei der Realisierung sei vorsichtig und im Einklang mit dem Vorgehen in mehreren anderen Ländern.
- Die Aufteilung der Abfälle auf verschiedene Lagerteile sei eine gute Sicherheitsmassnahme.
- Die Strategie zur Abfalleinlagerung und die Verwendung von mehrfachen Versiegelungen zur Unterteilung in Kompartimente sei machbar und vorsichtig.
- Das Lagerkonzept sei vernünftig und praktikabel.
- Die Sicherheitsanalyse berücksichtige die wichtigen Aspekte und Ungewissheiten und zeige ein solides Verständnis des Verhaltens des Gesamtsystems sowie des Verhaltens der einzelnen Barrieren.
- Die Nagra habe einen belastbaren Nachweis dafür vorgelegt, dass der Opalinuston im Zürcher Weinland ein geeignetes Wirtsgestein ist.
- Das Nagra-Programm zu den Eigenschaften des Tons bezüglich Radionuklid-Rückhaltung befinde sich an der Spitze der wissenschaftlichen Forschung.
- Die Nagra habe ihren Entsorgungsnachweis in hervorragender Weise dokumentiert, angefangen mit einer klaren Darstellung der Ziele und Prinzipien für den Entsorgungsnachweis.

Empfehlungen des NEA-  
Reviewteams

Das internationale Expertenteam hat folgende Empfehlungen abgegeben (Kap. 4):

- Inventar und Quellterme: Die Nagra soll in zukünftigen Sicherheitsanalysen darauf hinwirken, bessere Abschätzungen von Radionukliden für HAA und LMA zu erarbeiten (S. 65).
- Behälter und Gebinde für HAA/BE: Obwohl das IRT Stahl als angemessenes Behältermaterial beurteilt, soll die Option Kupferbehälter beibehalten werden (S. 68).
- Abfallmatrix für verglaste HAA: Die Nagra soll die internationalen Forschungsprogramme verfolgen, die auf die Entwicklung eines verbesserten Prozessverständnisses und von mathematischen Modellen für die Langzeitauflösung von verglasten HAA unter Lagerbedingungen abzielen (S. 74).
- Verfüllmaterialien für BE/HAA: Die Forschung zum Verhalten des Verfüllmaterials Bentonits unter erhöhten Temperaturen sei fortzusetzen; die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie Grossversuche zur Verwendung von Bento-

<sup>43</sup> Nagra (2002): XXIII.

<sup>44</sup> NEA (2004): 8 ff.

nitgranulat als Verfüllmaterial seien fortzuführen; die möglichen Wechselwirkungen zwischen der Bentonitbarriere und anderen Komponenten des Lagersystems seien weiter zu untersuchen (S. 78).

- Verfüllmaterialien für LMA: Die Entwicklung von alternativen Zementen, die auf eine Verringerung der chemischen Wechselwirkungen zwischen Verfüllmaterialien und Geosphäre abzielen, seien zu verfolgen (S. 79).
- Opalinuston-Barriere: Die Anstrengungen im Gebiet der geochemischen Rückhaltung seien fortzuführen; die Untersuchungen zum Nagra-Ansatz, der auf der Verwendung von Kd-Werten aus Batch-Sorptionsexperimenten in der Sicherheitsanalyse beruht, seien fortzusetzen; die Stichhaltigkeit der Verwendung natürlicher Analoga sei nachzuweisen; die Diffusionsprozesse im Opalinuston seien vertiefter auszuarbeiten (S. 83).
- Gasproduktion, Gastransport: Die experimentellen Untersuchungen der Gastransportprozesse seien fortzuführen; die Modellierung der Gastransportprozesse sei in Hinblick auf eine erhöhte Durchlässigkeit infolge Mikroriss- Erzeugung zu verbessern (S. 84).
- Rahmengesteine: Weitere Untersuchungen der Rahmengesteine auf einer lokalen und regionalen Ebene seien geeignet, um die Transportpfade in die Biosphäre besser zu verstehen (S. 86).
- Systementwicklung: Vor der endgültigen Auslegung der Untertagebauten sei eine sorgfältigere Analyse der Wiederaufsättigungsphase nach dem Lagerverschluss durchzuführen; in zukünftigen Berichten seien in Bezug auf die Systementwicklung die Folgen der globalen Erwärmung vertieft zu diskutieren (S. 90).
- Biosphäre: Das Expertenwissen über die Biosphärenmodellierung sei zu erhalten; der Fortschritt in der ökologischen Risikoanalyse sei zu verfolgen; in den zukünftigen Sicherheitsanalysen sei eine formale Behandlung des Gaspfades vorzusehen (S. 92).

Beteiligung der Nagra an EU-FRP-Projekten

Im Rahmen des 5. Forschungsrahmenprogramms der EU (1998-2002) hat sich die Nagra an insgesamt 17 Projekten beteiligt, wovon rund die Hälfte abgeschlossen ist oder sich in der Schlussphase befindet:<sup>45</sup>

- Bedeutung der Bentonitbarriere in der Sicherheitsanalyse eines geologischen Tiefenlagers
- Vergleich von Strategien für die Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle
- Grundlagen für die Bewertung und Entwicklung von Konzepten für die Endlagerung hochaktiver Abfälle
- Einbettung technischer Sicherheitsbarrieren im Opalinuston
- Verhalten der Tonbarriere unter dem Einfluss von Zementwasser – Phase II
- Grossversuch zu den technischen Barrieren im kristallinen Wirtgestein – Phase II
- Untersuchung von Gaseffekten in Sicherheitsanalysen für geologische Tiefenlager

<sup>45</sup> Nagra News – Aktuelles zur nuklearen Entsorgung, April 2004, S. 3.

- Langzeitverhalten verglaster hochaktiver Abfälle: Quellterm-Berechnung
- Thermo-hydro-mechanische Prozesse im Nahfeld eines geologischen Tiefenlagers (Wärmeausbreitung)
- Entwicklung von (hydromechanisch) gekoppelten Modellen durch Interpretation von Störungen bei der Abteufung des Hauptschachtes eines untertägigen Felslabors in Ostfrankreich
- Thematisches Netzwerk zur geologischen Tiefenlagerung
- Berücksichtigung von Rückhalte-Phänomenen der Geosphäre in der Sicherheitsanalyse
- Selbstheilung von Klüften in der Auflockerungszone von Tongesteinen
- Stabilität von abgebrannten Brennelementen unter Endlagerbedingungen
- Prüfung von Indikatoren für das Langzeit-Verhalten und die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers
- Thematisches Netzwerk zur Rolle der "Überwachung" bei der schrittweisen Realisierung eines geologischen Tiefenlagers
- Ventilationsexperiment im Opalinuston

Schwach- und kurzlebige  
mittelaktive radioaktive  
Abfälle (SMA)

Für die schwach- und kurzlebigen mittelaktiven Abfälle wurde der Entsorgungsnachweis mit dem Projekt "Gewähr" (1985) erbracht. Anschliessend wurde ein mehrjähriges Untersuchungsprogramm im Kanton Nidwalden (Wellenberg, Gemeinde Wolfenschiessen) gestartet.<sup>46</sup> Die erdwissenschaftlichen Abklärungen und Felduntersuchungen ergaben, dass sich das Gestein im Bergesinnern des Wellenbergs für die Aufnahme radioaktiver Abfälle mit hoher Wahrscheinlichkeit eignet. Sicherheitsexperten des Bundes und weitere unabhängige Fachleute bestätigten dies und verlangten, dass die Eignung durch den Vortrieb eines Sondierstollens überprüft werde. Das Volk von Nidwalden hat das Vorhaben in zwei Abstimmungen (1995 und 2002) verworfen. Die Projektträgerin, die Genossenschaft für nukleare Entsorgung Wellenberg (GNW), hat den Standort aufgegeben, sich vom Standort zurückgezogen und die vorhandenen Feldeinrichtungen abgebaut.

## 6.2. PSI/LES (Paul-Scherrer-Institut, Labor für Endlagersicherheit)

In einem Beitrag in den ENET-News stellen Hadermann et al. (Dez. 2002) die Forschungsaktivitäten des PSI vor:

Rolle der Forschung in der  
Endlagerung

(...) Forschungsaktivitäten haben die grundsätzliche Machbarkeit und Sicherheit von Endlagern mit technologischen Konzepten aufgezeigt, die aber jeweils an die konkret vorliegende geologische Situation angepasst und optimiert werden müssen. Somit bilden diese Forschungsarbeiten – unabhängig von politischen Standortentscheiden – eine notwendige grundlegende Unterstützung für Planung, Bau und Betrieb von Tiefenlagern. (...)

Zusammenarbeit der  
involvierten Fachleute

Das Labor für Endlagersicherheit (LES) im Forschungsbereich Nukleare Energie und Sicherheit des Paul Scherrer Instituts (PSI) in Villigen realisiert solche Forschungsprojekte zur Beurteilung der sicheren Lagerung radioaktiver Abfälle mit dem Ziel, die wesentlichen Mechanismen und Prozesse besser verstehen und quantitativ beschreiben zu können. Die am PSI durchgeführte Forschung ist grösstenteils generisch und bringt Erkenntnisse, die weitgehend unabhängig von Standorten sind und bei konkreten Projekten anwendungsorientiert eingesetzt werden. Diese Arbeiten werden in der Schweiz in Zusammenarbeit mit der NAGRA formuliert und durchgeführt. Sie sind zum Teil in euro-

<sup>46</sup> Zusammenfassung nach [www.gnw.ch](http://www.gnw.ch).

päische Projekte eingebunden. Das PSI ist als einziges Institut der Schweiz in der Lage, chemische Untersuchungen im Zusammenhang mit radioaktivem Abfall durchzuführen, da nur hier mit entsprechenden Quantitäten an radioaktivem Material (speziell Actiniden) gearbeitet werden kann. Zudem bieten die vorhandene Infrastruktur mit SLS, SING und geeigneten Labors (Typ A) optimale Experimentiermöglichkeiten. In engem Kontakt mit der internationalen Forscherszene, in internationalen Projekten sowie mit den jeweiligen Entsorgungsorganisationen findet ein reger Wissens- und Erfahrungsaustausch statt. Das Interesse des LES gilt vor allem der Chemie von Tiefenlagern sowie dem Mobilitätsverhalten von Radionukliden aus dem Abfall. Man untersucht deren Wechselwirkung mit Endlagerkomponenten und geologischen Materialien sowie die entsprechenden Rückhaltemechanismen. Das LES hat auf diesen Gebieten Prozessverständnis erarbeitet, Datengrundlagen ermittelt und Simulationsmodelle geschaffen. (...)

In Felsenlabors werden die Erkenntnisse getestet

In Felsenlabors werden die entwickelten Modelle unter realitätsnahen Bedingungen getestet. Im Felsenlabor Grimsel (Kristallin) wird beispielsweise das grundsätzliche Verhalten von Kolloiden untersucht, die zu einer Migration von Radionukliden und damit zur verminderten Rückhaltung durch das Gestein führen können. Im Felsenlabor Mont Terri (Jura, Opalinus-Ton) findet ein Migrationsversuch unter Beteiligung des LES statt. Komplementär wird in den Labors des LES die Mobilität von Radionukliden an Bohrkernen von Opalinus-Ton untersucht. Dazu wurde eine neuartige Diffusionszelle entwickelt, in welcher man den Druck verändern kann, um somit unterschiedliche Tiefen zu simulieren.

Konzentration auf Opalinus-Ton und künstliche Barrieren

Ein Hochskalieren von Labor- auf Tiefenlagerbedingungen ist bei einem recht homogenen Gestein wie Opalinus-Ton und bei künstlichen Barrieren (Verfüllmaterial, Zement) erheblich einfacher als in heterogenen Medien wie Kristallin, was sich für die Planung einer Lagerstätte als Vorteil erweist. Das zentrale Thema für deren Funktionszuverlässigkeit bleibt die Radionuklidmobilität. Daher werden sich die Forschungsaktivitäten darauf richten, das Verständnis der mechanischen und geometrischen Faktoren zu vertiefen, welche die Funktion künstlicher und geologischer Barrieren beeinflussen. Der langfristige Charakter der Entsorgungsfrage von radioaktiven Abfällen macht nicht nur eine langfristig angelegte Forschung und Entwicklung notwendig, sondern auch die entsprechende Ausbildung von Fachleuten in einem anspruchsvollen multidisziplinären Feld. Das Erarbeiten von Kompetenz ist demnach eine der wichtigsten Aufgaben des Labors für Endlagersicherheit (LES).

Es liegt ein aktueller Bericht vor, der die Tätigkeiten des PSI/LES im Hinblick auf das periodische Auditing darstellt (PSI/LES 2004).

Generelle Planung

Das LES will die Untersuchungen im Zusammenhang mit der Option Opalinuston im Labor und im Felsenlabor Mont Terri weiterführen. Das Schwergewicht wird auf der Geochemie der relevanten Elemente und der Diffusion in dichten Tonschichten liegen. Die in der letzten Zeit ermittelten Sorptions- und Löslichkeitswerte sind zum Teil um Größenordnungen tiefer oder höher als die bisher angenommenen. Um diese Werte zu bestätigen, sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich. Die Arbeiten im Rahmen des MicroXAS-Beamline-Projekt sind weiter voranzutreiben. Das LES wird im Rahmen des 6. EU-Forschungsrahmenprogramms an Projekten zu den Themen "Chemie und Physik von Aktiniden in Lösungen und in Festkörpern" (Network of Excellence) und "Modelle der wichtigsten Prozesse im Nahbereich" (Integrated Project) teilnehmen.<sup>47</sup>

### 6.3. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen

Aufgaben HSK

Die HSK hat bei der Entsorgung zwei Aufgaben, welche Forschung bedingen. Einerseits stellt die HSK die Anforderungen auf, welche bei der Entsorgung einzuhalten sind. Andererseits hat sie unabhängig zu prüfen, ob die von den Betreibern erbrachten Nachweise die aufgestellten Anforderungen tatsächlich erfüllen. Dazu ist es notwendig, dass sie eine Übersicht über den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik hat.

<sup>47</sup> Ganzer Abschnitt nach Laboratory for Waste Management (2003).

Strategiepapier  
"Regulatorische  
Sicherheitsforschung"

Im Entwurf zum Strategiepapier "Regulatorische Sicherheitsforschung" (12. Mai 2004; unveröffentlicht) beschreibt die HSK die Funktion der regulatorischen Sicherheitsforschung wie folgt: "Die HSK vergibt und koordiniert Forschungsaufträge mit dem Ziel, den aktuellen wissenschaftlich-technischen Kenntnisstand zu ermitteln, zu erweitern und für die Aufgaben der Aufsicht verfügbar zu machen."<sup>48</sup> Die regulatorische Sicherheitsforschung bilde "eine bedeutende Grundlage für das fachliche Profil der HSK. Die Qualitätsmerkmale ihrer Aufsichts- und Begutachtungstätigkeiten werden durch die Ressortforschung gesichert und weiter ausgebaut." Im Kapitel Schlussfolgerungen und Schwerpunkte (S. 32 ff.) werden folgende Themen genannt, welche für die Entsorgungsforschung von Bedeutung sind:

- Schwerpunktthemen<sup>49</sup>: Methodik von Sicherheitsanalysen zum Nachweis der Endlagersicherheit
- Aufbauthemen<sup>50</sup>: Langzeitverhalten der geologischen Barrieren und Langzeitverhalten der technischen Barrieren im Nahfeld

Im Kapitel "Themenbereich Umgang mit radioaktiven Abfällen und Stilllegung" (S. 25 ff.) werden die Themen konkretisiert und kommentiert sowie um den Rückbau und nicht-technische Themen erweitert (im folgenden wörtliche Wiedergabe aus dem Entwurf):

Sicherheitsanalysen zum  
Nachweis der  
Endlagersicherheit

Weiterentwicklung von Methoden für Sicherheitsanalysen und Szenarienanalysen, Erarbeitung von weiteren Sicherheitsindikatoren und -kriterien für die Entsorgung. Beurteilung der technischen Barrieren des Endlagers aus materialwissenschaftlicher Sicht im Hinblick auf ihr Einschlussvermögen für die Radionuklide.

Methodik von Sicherheitsanalysen zum Nachweis der Endlagersicherheit

Beurteilung der nationalen Fachkompetenz: In der Schweiz ist die Fachkompetenz in diesem Bereich verfügbar. Die Aufsichtsbehörde muss in der Lage sein, neuere Entwicklungen in der Sicherheitsanalyse vertieft zu berücksichtigen und die Sicherheitsanalysen unabhängig zu überprüfen. Dazu müssen entsprechende Ressourcen vorhanden sein. Teilweise kann in diesem Bereich auch die internationale Forschung genutzt werden.

Schnittstellen: Nagra, Betreiber, schweizerische Hochschulen, internationale Forschung, EU, IAEA, OECD-NEA.

Langzeitverhalten der  
geologischen Barrieren

Ermittlung des Ist-Zustandes und des Langzeitverhaltens der geologischen Barrieren unter Einfluss des Lagers, unter Berücksichtigung biologischer, chemischer und physikalischer Prozesse.

Felsmechanik und Sicherheit von geologischen Tiefenlagern

Beurteilung der nationalen Fachkompetenz: In der Schweiz ist die Fachkompetenz in diesem Bereich verfügbar, jedoch mit Lücken im Bereich der biologischen Prozesse. Das Thema ist teilweise regional-spezifisch, so dass die internationale Forschung nicht ohne weiteres nutzbar ist.

Schnittstellen: Nagra, inländische Forschungslabors, schweizerische Hochschulen, Ingenieurbüros, ausländische Forschung und Labors.

<sup>48</sup> HSK (2004): 3.

<sup>49</sup> Schwerpunktthemen: Forschungsthemen mit hoher Relevanz für die Aufsichtstätigkeiten, für die bereits auf breiter Basis Kompetenzen vorhanden sind, welche gesichert oder weiter ausgebaut, bzw. aktualisiert werden müssen (S. 33).

<sup>50</sup> Aufbauthemen: Forschungsthemen, deren Relevanz für die Aufsichtstätigkeiten künftig zunehmen kann, oder Themen, für die dem drohenden Verlust der nationalen Fachkompetenz durch gezielte Förderung entgegengewirkt werden muss (S. 33).

Langzeitverhalten der technischen Barrieren im Nahfeld

Dieser Bereich umfasst die Untersuchung und Beurteilung von langsam ablaufenden physikalischen und chemischen Prozessen in einem Tiefenlager (Wiederaufsättigung, Wärmeausbreitung, Korrosion, Diffusion, Sorption, etc.).

Beurteilung der nationalen Fachkompetenz: In der Schweiz ist Forschung in diesem Bereich zwar vorhanden, sie deckt aber nicht alle Themen ab. Die Aufsichtsbehörde HSK muss in diesem Bereich Fachkompetenz aufbauen, um die verfügbaren Forschungsergebnisse und Analysen nachzuvollziehen. Teilweise kann dazu auch die internationale Forschung genutzt werden.

Schnittstellen: Nagra, inländische Forschungslabors, schweizerische Hochschulen, Ingenieurbüros, ausländische Forschung und Labors.

Konkretisierung des Konzeptes geologischer Tiefenlager

Ausarbeitung der technischen Fragestellungen für die Umsetzung der Gesetzgebung (Verordnung) bezüglich geologischer Tiefenlager, insbesondere Auslegung des Pilotlagers, zu beobachtende Prozesse und entsprechende Messinstrumentierung.

Beurteilung der nationalen Fachkompetenz: In der Schweiz ist die Fachkompetenz in diesem Bereich beim Projektanten verfügbar, sie muss aber bei der Aufsichtsbehörde weiterentwickelt werden, um diese in die Lage zu versetzen, die Vorgaben zu formulieren und die Arbeiten der Projektanten unabhängig zu überprüfen.

Schnittstellen: Nagra, schweizerische Hochschulen, Ingenieurbüros.

Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Rückbau

Rückbau von mechanischen Ausrüstungen und Bauwerken nach deren Stilllegung

Beurteilung der nationalen Fachkompetenz: In der Schweiz ist die Fachkompetenz in diesem Bereich vereinzelt vorhanden, sie muss aber bei der Aufsichtsbehörde vor allem auch durch den Einbezug internationaler Erfahrungen weiterentwickelt werden.

Schnittstellen: Betreiber, schweizerische Hochschulen, Ingenieurbüros, internationale Kooperationen.

Nicht-technische Themen

Dieser Bereich umfasst ethische, soziale, politische, ökonomische, organisatorische und institutionelle Fragestellungen. Radioaktive Abfälle haben sowohl eine technische wie auch eine institutionelle Langzeitdimension: bei Endlagern handelt es sich um Langzeitprojekte, die von einer Generation nicht abschliessend bearbeitet werden können, und daher eine institutionelle Planung erfordern. Es besteht ein Bedarf an Arbeiten in diesem Forschungsbereich, allerdings sind sie nicht direkt Aufgabe der Aufsichtsbehörde HSK.

Ausarbeitung der nicht-technischen Fragestellungen bezüglich geologischer Tiefenlager.

Dynamik von Wertfragen der Gesellschaft.

Systematische Aufarbeitung des Begriffs "Nachhaltigkeit" im Entsorgungsbereich.

Institutionelle Planung, zeitliche Abläufe, Sicherstellung der Kontinuität.

Beurteilung der nationalen Fachkompetenz: Fachkompetenz in diesem Bereich ist vereinzelt vorhanden.

Schnittstellen: Diese Forschungsthemen sind nicht Aufgabe der Aufsichtsbehörde HSK. Mögliche Schnittstellen in den erwähnten Bereichen wären: BFE, BUWAL, CORE, Nagra, schweizerische Hochschulen.

#### 6.4. Weitere Träger der Endlagerforschung

Geologie, Seismik

An den Universitäten Bern, Basel, Neuenburg und vor allem an der ETH Zürich wird geologische Forschung betrieben, welche für die Entsorgung von Bedeutung ist. Zum Teil wird diese Forschung von der Nagra finanziert. Für die Beobachtung und Erforschung der Erdbeben in der Schweiz ist der Schweizerische Erdbebedienst (SED) am Institut für Geophysik an der ETH Zürich zuständig. Er arbeitet mit bei der Suche nach Standorten für geologische Tiefenlager für radioaktive Abfälle.<sup>51</sup>

<sup>51</sup> Vgl. <http://www.bebende.ch/forschung.shtml> und [www.seismo.ethz.ch](http://www.seismo.ethz.ch).

Radiochemie Die einzige in der Schweiz noch existierende Professur für Radiochemie ist an der Universität Bern angesiedelt und wird vom Paul-Scherrer-Institut (ETH-Bereich) finanziert.<sup>52</sup>

Sozialwissenschaften,  
Geschichte Im sozialwissenschaftlichen Bereich wird insbesondere an der ETH Zürich geforscht (Professur für Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, COWAM 2 im Rahmen des 6. EU-Forschungsrahmenprogramms). Am Institut für Technikgeschichte der ETH wurden im Rahmen des dreijährigen Forschungsprojektes "Nuclear Energy and Society" zwei Dissertationen verfasst und ein "Archiv zu Geschichte der Kernenergie in der Schweiz" (ARK) aufgebaut.<sup>53</sup>

Weitere sozialwissenschaftliche Forschungsarbeiten werden vom Bundesamt für Energie initiiert (z.B. Studien über die sozioökonomischen Auswirkungen von Endlagern oder die vorliegende Studie).

### 6.5. EURATOM-Projekte mit Schweizer Beteiligung

Übersicht über die Schweizer Projekte im EURATOM-Forschungsprogramm

Auf [www.bbw.admin.ch](http://www.bbw.admin.ch) sind alle Projekte mit Schweizer Beteiligung im EURATOM-Forschungsprogramm veröffentlicht (im Folgenden diejenigen des 5. Forschungsrahmenprogramms, nach Forschungsträgern geordnet). Die Forschungsprojekte von hoher Relevanz für die Entsorgung sind durch Kursivdruck hervorgehoben.

<i>Projekt-Titel</i>	<i>Organisation / Firma</i>	<i>Name</i>	<i>BBW-Nr.</i>	<i>EC-Nr.</i>
<i>HE: Heater experiment - rock and bentonite thermo-hydromechanical (THM) processes in the near field</i>	NAGRA	Issler Hans	01.0072-2	'FIKW-2001-00132
<i>SFS: Spent fuel stability under repository conditions</i>	NAGRA	Issler Hans	01.0076	'FIKW-CT-2001-00192
<i>GASNET: Gass issues in performance assessment of deep repositories for nuclear waste</i>	NAGRA	Issler Hans	01.0077	'FIKW-2001-20165
<i>RETROCK: Treatment of geosphere retention phenomena in safety assessments</i>	NAGRA	Issler Hans	01.0078-1	'FIKW-CT-2001-20201
<i>VE: Ventilation experiment at Mont Terri</i>	NAGRA	Issler Hans	01.0079-1	'FIKW-CT-2001-00126
<i>TN on Monitoring: A thematic network on the role of monitoring in a phased approach to disposal</i>	NAGRA	Issler Hans	01.0080	'FIKW-2001-20130
<i>COMPAS: Comparison of waste management strategies for long-lived radioactive wastes</i>	NAGRA	Issler Hans	01.0081	'FIKW-2001-20143
<i>GLASTAB: Long-term behavior of glass - improving the glass source term and substantiating the basic hypothesesC</i>	NAGRA	Zuidema Piet	99.0743-2	'FIKS-2000-00007
<i>FEBEX II: Full-scale engineered barriers experiment in crystalline host rock phase II</i>	NAGRA	Zuidema Piet	99.0749-1	'FIS5-1999-00120

<sup>52</sup> Universität Bern (15.08.2002): Bericht der Universitätsleitung zur Aufgabenüberprüfung der Universität im Zusammenhang mit dem Prozess SAR, S. 10.

<sup>53</sup> Meridian, Newsletter Nr. 14, Frühjahr 2004, S. 26-28 sowie NZZ 08.05.2003, S. 16.

Projekt-Titel	Organisation / Firma	Name	BBW-Nr.	EC-Nr.
<i>ECOCLAY II: Effects of cement on clay barrier performance - phase II</i>	NAGRA	Zuidema Piet	99.0751-1	'FIKW-2000-00028
<i>CROP: Cluster repository project - a basis for evaluating and developing concepts of final repositories for high level radioactive waste</i>	NAGRA	Zuidema Piet	99.0772	'FIR1-2000-20023
<i>MODEX-REP: Elaboration of hydromechanical coupled models by interpretation of the disturbances observed during the sinking of the main shaft of an underground laboratory in Eastern France</i>	NAGRA	Zuidema Piet	99.0773	'FIKW-2000-00029
<i>SPIN: Testing of safety and performance indicators</i>	NAGRA	Zuidema Piet	99.0775-1	'FIKW-2000-00081
<i>BENIPA: Bentonite barriers in integrated performance assessment</i>	NAGRA	Zuidema Piet	99.0778	'FIKW-2000-00015
<i>EB: Engineered barrier emplacement experiment in opalinus clay</i>	NAGRA	Zuidema Piet	99.0779	'FIKW-2000-00017
<i>SELFRAC: Fractures and self-healing within the excavation disturbed zone in clays</i>	NAGRA	Issler Hans	01.0075-1	'FIKW-CT-2001-00182
<i>NET.EXCEL: Network of excellence in nuclear waste management</i>	NAGRA	Zuidema Piet	02.0085	'FIR1-CT-2002-20212
EUROFASTNET	Paul Scherrer Institut PSI	Aksan Nusret S.	00.0019	'FIKS-2000-20100
CERTA: European network for the consolidation of the integral system experimental data bases for reactor thermal - hydraulic safety analysis	Paul Scherrer Institut PSI	Aksan Nusret S.	00.0330	'FIR1-2000-20052
HPLWR: High performance light water reactor	Paul Scherrer Institut PSI	Aksan Nusret S.	99.0745	'FIKI-2000-00033
ECORA: Evaluation of Computational Fluid Dynamic Methods for Reactor Safety analysis (submitted as ASCOR)	Paul Scherrer Institut PSI	Andreani Michele	01.0169	'FIS5-2001-00051
<i>FEBEX II: Full-scale engineered barriers experiment in crystalline host rock phase II</i>	Paul Scherrer Institut PSI	Baeyens Bart	99.0749-2	'FIS5-1999-00120
<i>ACTAF: Aquatic chemistry and thermodynamics of actinides and fission products relevant to nuclear waste disposal</i>	Paul Scherrer Institut PSI	Bradbury Michael	99.0744	'FIKW-2000-00035
LOW RISK MODELS: Improved cancer risk quantification for environmental, medical and occupational exposures to low doses of ionising radiation by mechanistic model	Paul Scherrer Institut PSI	Chawla Rakesh	00.0044	'FIGH-1999-00005
JSRI: Joint safety research index	Paul Scherrer Institut PSI	Coddington Paul	00.0345	'FIKS-2000-20089
PDS-XADS: Preliminary design studies of an experimental accelerator-driven system	Paul Scherrer Institut PSI	Coddington Paul	01.0031	'FIKW-2001-00179
<i>GLASTAB: Long-term behavior of glass, improving the glass source term and substantiating the basic hypotheses</i>	Paul Scherrer Institut PSI	Curti Enzo	99.0743-1	'FIKW-2000-00007
ASTAR: Advanced three-dimensional two-phase flow simulation tool for application to reactor safety	Paul Scherrer Institut PSI	De Cachard François	99.0796	'FIKS-2000-00050
TECLA: Technologies, materials and thermal-hydraulics for lead alloys	Paul Scherrer Institut PSI	Groeschel Friedrech	00.0057	'FIKW-2000-00092
SPIRE: Irradiation effects in martensitic steels under neutron and proton mixed spectrum	Paul Scherrer Institut PSI	Groeschel Friedrech	00.0217	'FIKW-2000-00058
EURSAFE: European expert network for the reduction of uncertainties in severe accident safety issues	Paul Scherrer Institut PSI	Güntay Salih	01.0228	'FIKS-CT-2001-20147
THENPHEBISP: Thematic network for a	Paul Scherrer Institut PSI	Güntay Salih	01.0361	'FIKS-CT-2001-

<i>Projekt-Titel</i>	<i>Organisation / Firma</i>	<i>Name</i>	<i>BBW-Nr.</i>	<i>EC-Nr.</i>
phebus FPT-1 thematic network				20151
PHEBEN2: Benchmarking release, circuit and containment codes against phebus FP-2	Paul Scherrer Institut PSI	Güntay Salih	99.0416	'FIKS-1999-00009
MICROMOX: The influence of microstructure of MOX fuel on its irradiation behaviour under transient conditions	Paul Scherrer Institut PSI	Hellwig Christian	00.0040	'FIKS-2000-00030
TEMPEST: Testing and enhanced modelling of passive evolutionary systems technology for containment cooling	Paul Scherrer Institut PSI	Huggenberger Max	00.0477	'FIKS-2000-00095
<i>NACUSP: Natural circulation and stability performance of BWRs</i>	<i>Paul Scherrer Institut PSI</i>	<i>Huggenberger Max</i>	<i>99.0746-1</i>	<i>'FIKS-2000-00041</i>
CONFIRM: Uranium free fuels for accelerator driven systems - collaboration on oxide and nitride fuel irradiation and modelling	Paul Scherrer Institut PSI	Ingold Franz	00.0039	'FIKW-2000-00096
<i>RETROCK: Treatment of geosphere retention phenomena in safety assessments</i>	<i>Paul Scherrer Institut PSI</i>	<i>Jakob Andreas</i>	<i>01.0078-2</i>	<i>'FIKW-CT-2001-20201</i>
INTERWELD: Irradiation effects on the evolution of the microstructure, mechanical properties, and residual stresses in the heat affected zone of stainless steel welds	Paul Scherrer Institut PSI	Kröger Wolfgang	00.0120	'FIKS-2000-00103
COLOSS: Core loss during a severe accident	Paul Scherrer Institut PSI	Kröger Wolfgang	99.0418	'FIKS-1999-00002
SGTR: Steam generator tube rupture scenarios	Paul Scherrer Institut PSI	Kröger Wolfgang	99.0421	'FIKS-1999-00007
ICHEMM: Iodine chemistry and mitigation methods	Paul Scherrer Institut PSI	Kröger Wolfgang	99.0423	'FIKS-1999-00008
GRETE: Evaluation of non destructive testing techniques for monitoring of material degradation	Paul Scherrer Institut PSI	Niffenegger Markus	00.0123	'FIS5-1999-00280
CASTOC: Crack growth behaviour of low alloy steel for pressure boundary components under transient light water reactor (LWR) operating conditions	Paul Scherrer Institut PSI	Seifert Hans-Peter	99.0715	'FIKS-2000-00048
MEGAPIE-TEST: Megawatt pilot experiment	Paul Scherrer Institut PSI	Steiner Erich	01.0298	'FIKW-CT-2001-00159
<i>ECOCLAY II: Effects of cement on clay barrier performance - phase II</i>	<i>Paul Scherrer Institut PSI</i>	<i>Tiits Jan</i>	<i>99.0751-2</i>	<i>'FIKW-2000-00028</i>
HINDAS: High and intermediate energy nuclear data for accelerator driven systems	Paul Scherrer Institut PSI	Weinreich Regin	00.0042-2	'FIKW-2000-00031
EVIDOS: Evaluation of individual dosimetry in mixed neutron and photon radiation fields	Paul Scherrer Institut PSI	Boschung Markus	01.0024	'FIKR-2001-00175
FLOMIX-R: Fluid mixing and flow distribution in the reactor circuit	Paul Scherrer Institut PSI	Andreani Michele	01.0168	'FIKS-2001-00197
ASCHLIM: Assessment of computational fluid dynamics codes for heavy liquid metals	Paul Scherrer Institut PSI	Dury Trevor V.	01.0137	'FIKW-CT-2001-80121
MICANET: Michelangelo network, competitiveness and sustainability of nuclear energy in the european union	Paul Scherrer Institut PSI	Foskolos Konstantin	01.0030	'FIKI-CT-2001-20180
<i>ACTINET: Establishment of a network of excellence in actinide science</i>	<i>Paul Scherrer Institut PSI</i>	<i>Hadermann J.</i>	<i>02.0071</i>	<i>'FIR1-CT-2002-20211</i>
HTR-N1: High temperature reactor, nuclear, physics, waste and fuel cycle studies	Paul Scherrer Institut PSI	Seiler Rudolf	01.0406	'FIKI-CT-2001-00169
<i>ADOPT: Thematic Network on advanced options for partitioning and transmutation</i>	<i>Paul Scherrer Institut PSI</i>	<i>Steiner Erich</i>	<i>01.0249</i>	<i>'FIKW-2001-20178</i>
<i>HE: Heater experiment - rock and bentonite thermo-hydromechanical (THM) processes in</i>	<i>ETH Zürich</i>	<i>Hermanns Stenge-</i>	<i>01.0072-1</i>	<i>'FIKW-2001-00132</i>

<i>Projekt-Titel</i>	<i>Organisation / Firma</i>	<i>Name</i>	<i>BBW-Nr.</i>	<i>EC-Nr.</i>
<i>the near field</i>		<i>le Rita</i>		
HINDAS: High and intermediate energy nuclear data for accelerator driven system	ETH Zürich	Pauss Felicitas	00.0042-1	'FIKW-2000-00031
<i>NACUSP: Natural circulation and stability performance of BWRs</i>	<i>ETH Zürich</i>	<i>Yadigaroglu George</i>	<i>99.0746-2</i>	<i>'FIKS-2000-00041</i>
ENEN: Euratom nuclear engineering network	ETH Zürich	Yadigaroglu George	02.0301	'FIR-CT-2001-80127
SPI: Evaluation of alternative approaches for assessment of safety performance indicators for nuclear power plants	Bundesamt für Energie BFE	Chakraborty S.	01.0032-1	'
ERRICCA 2: European Research into radon in construction	Bundesamt für Gesundheit BAG	Piller Georges	00.0644	'FIR1-CT-2001-20142
EAN: European ALARA Network	Bundesamt für Gesundheit BAG	Piller Georges	01.0147	'FIR1-2001-20187
<i>HE: Heater experiment - rock and bentonite thermo-hydromechanical (THM) processes in the near field</i>	<i>Colenco Power Engineering AG</i>	<i>Lavanchy Jean-Marc</i>	<i>01.0072-3</i>	<i>'FIKW-2001-00132</i>
<i>VE: Ventilation experiment in opalinus clay</i>	<i>Colenco Power Engineering AG</i>	<i>Lavanchy Jean-Marc</i>	<i>01.0079-3</i>	<i>'FIKW-CT-2001-00126</i>
SPIN: Testing of safety and performance indicators	Colenco Power Engineering AG	Resele Georg	99.0775-2	'FIKW-2000-00081
SPI: Evaluation of alternative approaches for assessment of safety performance indicators for nuclear power plants	ERI Consulting, Khatib, Attenhofer & Co.	Khatib-Rahbar M.	01.0032-2	'FIKR-CT2001-00139
STREPS: A rapid source term indicator based on plant status for use in emergency response	ERI Consulting, Khatib, Attenhofer & Co.	Khatib-Rahbar M.	01.0403	'FIKR-2001-00139
<i>VE: Ventilation experiment in opalinus clay</i>	<i>Solexperts AG</i>	<i>Thut Arno</i>	<i>01.0079-2</i>	<i>'FIKW-CT-2001-00126</i>
<i>SELFRACT: Fractures and self-healing within the excavation disturbed zone in clays</i>	<i>Solexperts AG</i>	<i>Bühler Christoph</i>	<i>01.0075-3</i>	<i>'FIKW-CT-2001-00182</i>
BIODOS: Biokinetics and Dosimetry of internal Contamination (neu aus INRAD und TIMID)	Universität Bern	Frenz Martin	99.0710	'FIGD-2000-00053
<i>ECOCLAY II: Effects of cement on clay barrier performance - phase II</i>	<i>Universität Bern</i>	<i>Peters Tjerk</i>	<i>99.0751-3</i>	<i>'FIKW-2000-00028</i>
<i>COWAM: Comparison of decision making processes at the local and regional community level in nuclear waste facility siting</i>		<i>Prêtre Serge</i>	<i>00.0484</i>	<i>'FIKW-2000-20072</i>
CT-TIP: Computed tomography - techniques, image quality and patient dose	Kantonsspital Basel	Bongartz Georg	00.0320	'FIS5-1999-00264
SPI: Evaluation of alternative approaches for assessment of safety performance indicators for nuclear power plants	Kernkraftwerk Beznau d. Nordostschweiz. Kraftwerke AG	Habermacher Hanspeter	01.0032-3	'FIKS-2001-20145
UPC X-IM: Unification of physical and clinical requirements for medical X-ray imaging and its relevance to European industrial and socio-economic development	Service des Hospices Cantonaux	Verdun Francis R.	99.0739	'FIGM-2000-00036
<i>HE: heater experiment: rock and bentonite thermo-hydro-mechanical (thm) processes in the near field</i>	<i>Rothpletz, Lienhard + Cie AG</i>	<i>Ammon Christian</i>	<i>01.0072-4</i>	<i>'FIKW-2001-00132</i>
<i>SELFRACT: Fractures and self-healing within the excavation disturbed zone in clays</i>	<i>EPF Lausanne</i>	<i>Labieuse Vincent</i>	<i>01.0075-2</i>	<i>'FIKW-2001-00182</i>

<i>Projekt-Titel</i>	<i>Organisation / Firma</i>	<i>Name</i>	<i>BBW-Nr.</i>	<i>EC-Nr.</i>
LISSAC: Strains for severe accident conditions	Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA	Kieselbach Rolf	99.0498-2	FIKS-CT1999-0001
PARSOAR: Hydrogen hazard, passive autocatalytic recombiners state-of-the-art	Electrowatt Engineering AG	Ferroni Ferruccio	99.0685	FIKS-1999-20002

*Tabelle 7 EURATOM-Forschung, 5. Forschungsrahmenprogramm, Projekte mit Schweizer Beteiligung*

Im Rahmen des 6. Forschungsrahmenprogramms sind bisher (Stand Juli 2004) folgende Schweizer Akteure an Projekten im Bereich Entsorgung radioaktiver Abfälle beteiligt (abrufbar unter [www.cordis.lu](http://www.cordis.lu)). Schweizer Institutionen sind an fünf der bisher laufenden sieben Projekte beteiligt.

<i>Projekt-Titel</i>	<i>Institution</i>	<i>EC-Nr.</i>
Understanding and physical and numerical modelling of the key PROCESSES IN THE NEAR-FIELD and their coupling for different host rocks and repository strategies (NF-PRO)	PSI	FI6W-CT-2003-002389
COmmunity WAste Management 2 : Improving the Governance of Nuclear Waste Management and Disposal in Europe (COWAM 2)	ETHZ	FI6W-CT-2003-508856
Network for Actinide Sciences (ACTINET-6)	PSI	FI6W-CT-2004-508836
Support Action: Pilot Initiative for European Regional Repositories (SAPIERR)	ARIUS	FI6W-CT-2003-509071
Engineering Studies and Demonstrations of Repository Designs (ESDRED)	Nagra	FI6W-CT-2004-508851

*Tabelle 8 EURATOM-Forschung, 6. Forschungsrahmenprogramm, Bereich Entsorgung radioaktiver Abfälle, Projekte mit Schweizer Beteiligung*

## 7. Forschungspolitische Würdigung

Die Würdigung stützt sich auf die in den vorangehenden Kapiteln dargestellten Grundlagen und die Ergebnisse der Experteninterviews.

### 7.1. Internationale Einigkeit über das Lagerkonzept

Das Konzept der Lagerung in tiefen geologischen Schichten ist nach heutigem Kenntnisstand die beste Option für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle.

Tiefenlagerung: Mehrere Jahrzehnte Erfahrung, Vorteile liegen auf der Hand

Das Konzept der Lagerung in tiefen geologischen Schichten wurde von der amerikanischen National Academy of Science bereits 1957 empfohlen.<sup>54</sup> Es ist in der Schweiz im Kernenergiegesetz gesetzlich verankert, allerdings mit schweizerischen Besonderheiten: Neben dem "Hauptlager" sind Testbereiche, in welchen die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtsgesteins zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises abzuklären sind (Art. 65 Vernehmlassungsentwurf KEV) und Pilotlager vorgesehen, in denen das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtsgesteins bis zum Ablauf der Beobachtungsphase überwacht wird (Art. 66 Vernehmlassungsentwurf KEV). In der EU wollte die EU-Kommission das Konzept in der Entsorgungsrichtlinie für alle Mitgliedstaaten verbindlich festhalten; die Richtlinie ist jedoch im Frühjahr 2004 am Widerstand des Ministerrates gescheitert (vgl. Kap. 3.3). Die Wissenschaft verfügt über mehrere Jahrzehnte Erfahrungen mit dem Konzept der geologischen Tiefenlagerung. Seit rund 25 Jahren – für die Entsorgungswissenschaft eine lange Zeit – besteht ein allgemeiner Konsens, dass die Lagerung in tiefen geologischen Schichten die beste Lösung sei; eine Änderung in den nächsten Jahrzehnten sei nicht zu erwarten.<sup>55</sup>

(Keine) Alternativen zur Tiefenlagerung

Obwohl die geologische Tiefenlagerung übereinstimmend als das sicherste Verfahren bezeichnet wird, werden in Frankreich gemäss Abfallgesetz vom 30.12.1991 bis 2005 vertiefte Abklärungen zu drei unterschiedlichen Entsorgungsstrategien (geologische Tiefenlagerung, kontrollierte Oberflächenlagerung, Trennung und Transmutation) durchgeführt. Eine Alternative zur Tiefenlagerung steht laut übereinstimmender Einschätzung der befragten Experten zur Zeit jedoch nicht zur Verfügung. Insbesondere sei die zeitlich unbegrenzte oberirdische Aufbewahrung von radioaktiven Abfällen mit höheren Risiken und einer höheren Belastung für die späteren Generationen verbunden als die Lagerung in tiefen geologischen Schichten. Partitioning und Transmutation sind keine Alternativen zur Tiefenlagerung, sondern lediglich eine Ergänzung.<sup>56</sup> Forschung zu Partitioning und Transmutation mache jedoch nur im Kontext einer langfristigen Nutzung der Kernenergie Sinn.<sup>57</sup>

<sup>54</sup> Papay (2003).

<sup>55</sup> Interview W. Wildi, 30.03.2004.

<sup>56</sup> Vgl. Referat von Ralph G. Bennett zum Thema "Alternatives to Direct Spent Nuclear Fuel Disposal: Advanced Nuclear Fuel Cycles" anlässlich des 2003 National Meeting der National Academy of Engineering (abrufbar unter [www.nae.edu](http://www.nae.edu)).

<sup>57</sup> Interview J. Hadermann, 22.04.2004. Vgl. auch den NEA-Report zu einem Meeting (NEA 2003e), welches von J. Hadermann geleitet wurde.

Andere Entsorgungsmöglichkeiten (z.B. die Lagerung in den Kernkraftwerken, im Weltall, im Erdinnern, unter dem Eismantel etc.) werden als unrealistisch betrachtet.<sup>58</sup> Die folgende Tabelle zur Entwicklung der verschiedenen Entsorgungskonzepte ist dem Bericht der Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA 2000) entnommen:

Entsorgungskonzepte	Art, Material	Bemerkung	Autor, Jahr	Zeitschrift
HAA: Fixierung in Ton	insbesondere Montmorillonite		Ginell et al., 1954	Nucleonics 12/12
HAA: Verglasung und Keramik		Verglasung seit 1951 vorgeschlagen	Rodger, 1954	Nucl. Engineering 50/5
HAA und SMA: Deponierung in oberflächennahen Schichten	dump oder land-burial	im Rahmen des Konzepts des nuklearen Brennstoffkreislaufs	Goodman, 1949	Nucleonics 4/2
SMA (und HAA): Verdünnung	Ventilation von Gasen und Ableitung von Flüssigkeiten		Beers, 1949 Scott, 1950	Nucleonics 4/4 Nucleonics 6/1
HAA und SMA: Verpressung	in Bohrlöchern oder Brunnen		Struxness et al., 1955	IAEA, Genf, P/554
Flüssige SMA: Versickerung	mit Versickerungsbecken		Morton, 1952	NSA 6, 1212
Geologische Endlagerung	Sedimente (Tone, Salz), danach kristalline Gesteine, Tuffe etc.	progressive Entwicklung der Konzepte	Theis, 1955 Warde et al., 1955	IAEA, Genf, P/564 J. of Metals, Oct. 55
SMA: Meeresversenkung	dumping	nach 1972 durch Londoner Convention geregelt, seit 1985 Moratorium. Soll im Rahmen der Londoner Konvention verboten werden.	Claus, 1955	IAEA, Genf, P/848
HAA: Subseabed-Disposal	Endlagerung in unkonsolidierten, ungestörten Meeressedimenten	ab 1977 als "sub seabed"-Projekt weiterverfolgt	Evans, 1952	NSA 8, 1954: 4929
HAA: Endlagerung in Subduktionszonen	submarine Endlager in abtauchender ozeanischer Platte	Gefahr des Vulkanismus	Bostrom et al., 1970	Nature 228
HAA: Endlagerung in Bruchzonen	Tiefseeegräben		Bogorov et al., 1958	IAEA, Genf, P/2058
HAA: Endlagerung im Eis	antarktische Endlager	meltdown heisser Abfälle (Eisschmelzen)	Philbert, 1959	Atomkern-Energie, 4/3
HAA: Selbstverschmelzung im tiefen Untergrund	deep underground melting	flüssige HAA in einer atomar erzeugten Kaverne	Cohn et al., 1972	Nuclear Technol., April 1972
"Entsorgung" im Weltall			Hollocher, 1975	MIT Press
Transmutation			Cecille et al., 1977 Hage W., 1978	IAEA, Wien, 36/366 EUR-5897

Tabelle 9 Vorgeschlagene Entsorgungskonzepte seit 1949  
Quelle: EKRA 2000: 13.

Tiefenlagerung: Das Konzept ist noch nicht definitiv ausgestaltet

Am Grundkonsens "Lagerung in tiefen geologischen Schichten" ändern auch die diskutierten Fragen wie "Sollen die Abfälle – für eine gewisse Zeit – rückholbar sein?" oder "Soll das Lager über einen längeren Zeitraum zwecks Überwachung

<sup>58</sup> Eine populärwissenschaftliche Aufbereitung der Alternativen/Ergänzungen findet sich unter der vom US-Departement of Energy betriebenen Seite [www.ocrwm.doe.gov](http://www.ocrwm.doe.gov).

offen bleiben?" nichts.<sup>59</sup> Es ist selbstverständlich, dass die geologische Tiefenlagerung nur dann die beste Lösung ist, wenn sie auch bestmöglich ausgestaltet und umgesetzt wird.<sup>60</sup> In einer vergleichenden Bewertung von Entsorgungsoptionen kam eine deutsche Studie zum Schluss, dass die baldige Endlagerung in geologischen Schichten (d.h. ohne Rückholbarkeit und ohne Überwachung/Kontrolle) sicherheitstechnisch und ethisch am besten abschneidet.<sup>61</sup> An der Ausgestaltung wird derzeit in verschiedenen Staaten gearbeitet. Auch die Diskussion, ob mehrere Staaten zusammen ein gemeinsames Lager erstellen sollen, wird zur Zeit geführt.<sup>62</sup> In den meisten Staaten wären dazu – da Ausfuhr und Einfuhr von radioaktiven Abfällen verboten oder nur unter restriktiven Voraussetzungen erlaubt sind – Gesetzesänderungen erforderlich.

Wie viel Ressourcen für Alternativen/Ergänzungen zum geologischen Tiefenlager?

Es ist – wie beispielsweise das 6. EU-Forschungsrahmenprogramm zeigt (vgl. Kap. 5.5) oder auch wie im aktuellen schweizerischen Energieforschungskonzept angemerkt wird (Kap. 4.5, bei den Ausführungen zum BFE) – kaum bestritten, dass ergänzend zum Konzept der Lagerung in tiefen geologischen Formationen weitere Forschungsarbeiten (z.B. zu Partitioning und Transmutation) gezielt voranzutreiben sind. Die Frage ist jedoch, welcher Anteil der Ressourcen dafür zur Verfügung zu stellen ist. Wer – wie Frankreich – erhebliche Forschungsarbeiten zur Oberflächenlagerung und zu Partitioning/Transmutation durchführe, laufe Gefahr, sich zu verzetteln und zuwenig Ressourcen für die beste Option, die Tiefenlagerung, bereitzustellen.<sup>63</sup>

## 7.2. Stand des Wissens in der internationalen naturwissenschaftlich-technischen Entsorgungsforschung

Der Stand des naturwissenschaftlich-technischen "Entsorgungswissens" in der internationalen Forschung ist nach Einschätzung der befragten Experten heute hoch bis sehr hoch. Die Beurteilung, ob der Forschungsstand ausreichend ist, ist jedoch eine Frage, welche nicht oder nur zum Teil von Entsorgungsverantwortlichen oder von den Entsorgungswissenschaftlern beantwortet werden kann.

<sup>59</sup> Beispielsweise plädiert M. Sailer (Interview 05.04.2004) gegen die Rückholbarkeit und für einen raschen Verschluss, während W. Wildi (Interview 30.03.2004) Tiefenlager mit Pilotlager und Rückholmöglichkeit favorisiert. Für R. Kipfer (Interview 07.04.2004) ist die Idee der Rückholbarkeit zwar politisch gut begründet, für die Sicherheit sei sie aber als Rückschritt zu bewerten. R. Scholz (Interview 06.04.2004) hält die Idee der Endlagerung für verfehlt: Sinnvoll sei – auf unbestimmte Zeit – nur eine Zwischenlagerung in geeigneten Tiefenlagern, da auch Abfälle Rohstoffe [insbesondere abgebrannte Brennelemente] sind, welche vielleicht einmal gebraucht würden.

<sup>60</sup> Interview J. Hadermann, 22.04.2004.

<sup>61</sup> Gruppe Ökologie (2001): 6. Vgl. auch McCombie (2003).

<sup>62</sup> Vgl. [www.arius-world.org](http://www.arius-world.org) sowie das im Rahmen des 6. EU-Forschungsrahmenprogramms durchgeführte Projekt SAPIERR (Support Action for a Pilot Initiative on Regional Repositories). Der Verein ARIUS (= Association for Regional and International Underground Storage) bezweckt die Förderung von Konzepten für internationale und regionale Lösungen für die Endlagerung und Zwischenlagerung. Gründungsmitglieder: ONDRAF-NIRAS (Belgien), Kozloduy Nuclear Power Plant (Bulgarien), PURAM (Ungarn), ENEA (Italien), Obayashi Corporation (Japan) und Colenco Power Engineering (Schweiz). 2004 kamen dazu: COVRA (Niederlande), ARAO (Slowenien) und die lettische Strahlenschutzbehörde. ONDRAF-NIRAS trat 2004 gemäss Angaben auf [www.arius-world.org](http://www.arius-world.org) aus dem Verein aus.

<sup>63</sup> Interview M. Sailer, 05.04.2004.

Sehr hoher Wissensstand =  
genügender Wissensstand?

Die in der Entsorgungsforschung tätigen und befragten Personen beurteilen den internationalen Stand des naturwissenschaftlich-technischen Wissens als sehr hoch; die Wissenslücken seien bekannt. Es ist jedoch zu bedenken, dass der Umgang mit dem Nicht-Wissen im Bereich der Entsorgung besondere Herausforderungen stellt<sup>64</sup>: Wie ist beispielsweise das Vorsorgeprinzip im Lichte der Langfristigkeit der Lagerprojekte umzusetzen?

Forschungsbedarf wird durch  
die "Politik" festgelegt

Ob man im Bereich der Entsorgung "genug" weiss, um die Abfälle "sicher" zu entsorgen, ist eine Frage, welche nicht durch die Wissenschaftler (allein) beantwortet werden kann. Vielmehr definiert das politisch-administrative System, welches Mass an Risiko beziehungsweise Unwissen bei der Entsorgung tragbar ist. Es bestimmt damit auch, welches Mass an Wissen bereitzustellen ist. Es legt auch den Terminplan fest: Stellt es zu wenig Zeit zur Verfügung – dieser Vorwurf wurde gegen den (in der Zwischenzeit gescheiterten) EU-Kommissionsentwurf für eine Entsorgungsrichtlinie erhoben –, kann entweder das erforderliche Wissen nicht bereit gestellt werden<sup>65</sup> oder es nimmt bewusst Unsicherheiten in Kauf, welche durch weitere Forschungsarbeiten reduziert werden könnten. Im Augenblick ist jedoch eher das Umgekehrte der Fall: Das politisch-administrative System will eher "zu viel" wissen als "zu wenig". Im Weiteren ist die Forschung im Unterschied zur Entsorgungsaufgabe nie am Ende: Die Mehrzahl der Forschungsarbeiten schliesst bekanntlich mit dem Kapitel "Offene Forschungsfragen".

### 7.3. Forschungsausrichtung und Forschungsstand in der Schweiz

Der Stand der Forschung in der Schweiz entspricht dem internationalen Stand des Wissens und der Technik, zum Teil werden in der Schweiz Standards gesetzt.

"Weltspitze"

Die schweizerische Endlager-Forschung, insbesondere auch jene, welche durch die Nagra finanziert wird, ist gemäss Einschätzung der befragten Experten grundsätzlich auf dem internationalen Niveau, im Bereich der Erforschung kristalliner und tonhaltiger Wirtsgesteine sogar "Weltspitze"<sup>66</sup>. Ein internationales Reviewteam der NEA stellte der Nagra für den Sicherheitsbericht innerhalb des Projektes Opalinuston hervorragende Noten aus:<sup>67</sup> Die Nagra haben einen "belastbaren Nachweis" geführt, dass das Wirtsgestein Opalinuston geeignet sei; die Sicherheitsanalyse zeige ein "solides Verständnis des Verhaltens des Gesamtsystems".

Dass die Schweiz Forschung betreibt, die dem internationalen Stand des Wissens entspricht, wird unter anderem durch die ausserordentlich gute internationale Vernetzung und durch ein ausgereiftes, das internationale Wissen einbeziehendes Review-System gewährleistet. Für die Nagra ist wesentlich, dass ihre Arbeiten auf dem besten aktuell verfügbaren Wissen aufbauen. Ob sie dieses Wissen aus der Schweiz oder aus dem Ausland bezieht, ist für sie zweitrangig.<sup>68</sup>

<sup>64</sup> Interview J. Vigfusson, 06.04.2004.

<sup>65</sup> Interview S. Löw, 24.03.2004.

<sup>66</sup> Interview S. Löw, 24.03.2004.

<sup>67</sup> NEA (2004) und NZZ 28.04.2004, S. 13.

<sup>68</sup> Interview M. Fritschi, 22.04.2004.

Keine gänzlich unerforschten Gebiete

Der Überblick über die internationale und nationale Forschung hat ergeben, dass zu allen Themenkomplexen, welche in der ersten Runde der Expertenbefragungen als Interviewleitfaden dienten, Forschung betrieben wird (Tabelle 2), soweit zu den genannten Themen überhaupt eigentliche Forschung zu betreiben ist (z.B. Arten der entsorgenden Abfälle, Schutz vor äusseren Einwirkungen, Überwachungsphase, Entscheid über den Verschluss). Die Forschungsarbeiten gehen bei den verschiedenen Themenkomplexen jedoch unterschiedlich tief.

Engagement ist erforderlich

Voraussetzung für die Lösung des Entsorgungsproblems ist eine funktionsfähige technische Lösung. Dies reicht jedoch nicht aus, es bedarf – selbstverständlich – auch des Engagements von Politik und Wirtschaft. Bei den Werken sei ein hohes Interesse an einer raschen Lösung vorhanden,<sup>69</sup> was vom Bund klare und zeitgerechte Entscheide erfordere.<sup>70</sup> Die Nagra verspricht sich vom Instrument des Entsorgungsprogramms, welches im neuen Kernenergiegesetz verankert wurde (Art. 32 KEG), die Beseitigung gewisser bestehender Unsicherheiten.<sup>71</sup> Das Entsorgungsprogramm ist von den Entsorgungspflichtigen zu erstellen und vom Bundesrat zu genehmigen. Es hat Angaben zum Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager zu enthalten. Wird der Realisierungsplan vom Bundesrat genehmigt, bindet er die Entsorgungspflichtigen und auch den Bund.

#### 7.4. Wissensmanagement, Erhaltung des Wissens

Es ist eine ständige Herausforderung, das vorhandene Wissen zeit- und aufgabengerecht verfügbar zu machen. Die Kenntnisse über erstellte Lager zu erhalten, stellt ebenfalls eine grosse Herausforderung dar.

Wissensmanagement bis zur Realisierung der Endlager

Die Herausforderung, das Entsorgungswissen zeit- und aufgabengerecht verfügbar zu machen, sei nur mit einem angemessenen Wissensmanagement möglich,<sup>72</sup> dies insbesondere im Hinblick darauf, dass der Bewilligungsprozess lange dauert und mehrstufig ist. Bei der Nagra ist ein spezielles Knowledge-Management institutionalisiert.<sup>73</sup> Elemente dieses Prozesses sind die hierarchisch gegliederte Berichterstattung, deren elektronische und physische Dokumentation sowie die Pflege der internen und externen Fachspezialisten. Für die Nagra ist es nicht erforderlich – es wäre auch nicht möglich –, alles Fachwissen durch eigene Spezialisten abzudecken. Erforderlich ist es aber, dass eigene Fachleute das Fachwissen im Zusammenhang richtig bewerten können. Dieses Wissen muss innerhalb der Nagra verfügbar sein.

<sup>69</sup> Interview P. Hufschmied, 14.04.2004, und J. Hadermann, 22.04.2004. Für M. Fritschi (Interview 22.04.2004) sollte die Lösung der Entsorgungsaufgabe nicht ohne Not auf eine unbestimmte Zeit verschoben werden, wenn sie heute gelöst werden könne.

<sup>70</sup> Interview M. Fritschi und P. Zuidema, 22.04.2004, und Interview J. Hadermann, 22.04.2004.

<sup>71</sup> Interview M. Fritschi und P. Zuidema, 22.04.2004.

<sup>72</sup> Interviews W. Wildi, 30.03.2004, R. Scholz, 06.04.2004, und M. Sailer, 05.04.2004.

<sup>73</sup> Bis Absatzende gemäss Interview M. Fritschi und P. Zuidema, 22.04.2004.

Nachwuchsförderung

Es ist entscheidend, dass im Hinblick auf die Dauer des Entsorgungsprozesses (inkl. Überwachung der Lager) genügend Wissen reproduziert wird. Es sei insbesondere zu verhindern, dass mit der Pensionierung der aktiven Entsorgungsforscher (zu) viel Wissen – unwiederbringlich? – verloren gehe.<sup>74</sup> "Know-how cannot be put on ice."<sup>75</sup> Ein Instrument ist beispielsweise die "ITC - School of Underground Waste Storage and Disposal" in Meiringen/BE, an der sich die Nagra aktiv beteiligt. Das Ziel des ersten Trainingskurses (Okt./Nov. 2003) war "der Erhalt und der Transfer von Know-how" unter den Wissenschaftlern, Ingenieuren und Projektmanagern in aller Welt, welche mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle betraut sind.<sup>76</sup>

### 7.5. Zweckorientierung der Entsorgungsforschung

Die naturwissenschaftlich-technische Entsorgungsforschung ist auf ein konkretes Ziel ("sichere Entsorgung des radioaktiven Abfalls", in der Schweiz hauptsächlich: "geologische Tiefenlagerung") hin ausgerichtet. Dies hat den Vorteil, dass die Mittel effizient eingesetzt werden, birgt aber gleichzeitig eine gewisse Gefahr, dass Forschung, welche nicht direkt der als am zweckmässigsten beurteilten Variante dient, vernachlässigt wird.

Anteil der Grundlagenforschung ist klein

Entsorgungsforschung ist in erster Linie angewandte Forschung (Definition der Grundlagenforschung, vgl. S. 10). Für die Erforschung von geologischen Prozessen und Gesteinseigenschaften, welche nicht dem Entsorgungszweck dient, stellt die Nagra und die entsprechenden Bundesbehörden wenige Prozent des Geldes zur Verfügung, welches für die zweckorientierte Entsorgungsforschung aufgewendet wird.<sup>77</sup> Grundlagenforschung mit Relevanz für die Entsorgung wird in der Schweiz insbesondere durch das PSI/LES in folgenden Bereichen betrieben: Grundlagen der Endlagerchemie, Chemie an der Fest/Flüssig-Grenzschichten und Stofftransport in relevanten Festphasen sowie Übertragung der erzielten Erkenntnisse in die Sicherheitsanalysen.<sup>78</sup> Für J. Hadermann, den Leiter des PSI/LES, liegt der Unterschied zwischen der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung insbesondere auch in der Zeitdimension:<sup>79</sup> Während die angewandte Forschung unmittelbar einen Nutzen erbringen sollte, tritt dieser bei der Grundlagenforschung oft erst zu einem (viel) späteren Zeitpunkt zu Tage.

Zweck: Sichere Entsorgung

Dass die Grundlagenforschung im Bereich der Entsorgung gegenüber der angewandten Forschung eine unbedeutende Rolle spielt, hängt vor allem mit dem vorgegebenen Ziel der Entsorgung zusammen. Das neue Kernenergiegesetz schreibt vor, radioaktive Abfälle so zu entsorgen, dass "der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist" (Art. 30 Abs. 3 KEG). Analoge Ziele werden in allen

<sup>74</sup> Interview R. Scholz, 06.04.2004.

<sup>75</sup> PSI/LES (2004): 11.

<sup>76</sup> Nagra Pressemitteilung (22.10.2003): Start der "School of Underground Waste Storage and Disposal" in Meiringen (BE); vgl. [www.itc-school.org](http://www.itc-school.org).

<sup>77</sup> Interview S. Löw, 24.03.2004.

<sup>78</sup> Beschreibung der Forschungsbereiche in PSI/LES (2004).

<sup>79</sup> Interview J. Hadermann, 22.04.2004.

Staaten verfolgt, welche Entsorgungsaufgaben zu lösen haben. Für mehr als dreissig Staaten (inkl. Schweiz) gilt auch das Übereinkommen über die Sicherheit der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, welches zum Ziel hat, einen weltweit hohen Sicherheitsstand bei der Entsorgung zu erreichen und zu halten. Dieser hohe Sicherheitsstand ist zwar gesetzlich vorgegeben, er ist aber nicht ein für alle Mal fest, da er sich nach dem jeweiligen Stand der Erfahrung und von Wissenschaft und Technik auszurichten hat. So ist die Forschung nicht abgeschlossen, wenn ein Entsorgungskonzept vorliegt, das den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik umgesetzt hat.

Zweck der geisteswissenschaftlichen Entsorgungsforschung

Der Zweck der Geisteswissenschaften in der Entsorgungsforschung ist viel weniger eindeutig als derjenige der Naturwissenschaften. Unter dem Titel "Geisteswissenschaften in der Krise" hat sich DIE ZEIT in mehreren Beiträgen im Jahr 2004 mit der Rolle der Geisteswissenschaften beschäftigt. Die Frage nach dem Nutzen der Geisteswissenschaften sei eine Frage, welche "sich als sinnlos (..) oder so sinnvoll wie die Frage nach dem Nutzen des Menschen [erweise]."<sup>80</sup> Dies hängt unter anderem mit dem Forschungsgegenstand zusammen: Die Naturwissenschaften untersuchen die kausal determinierte, die Geisteswissenschaften die interpretierte Welt.<sup>81</sup> Die Geisteswissenschaften widmen "sich Fragen, die ihr nicht von aussen aufgezwungen, sondern die ihr durch eigene Forschung zu Bewusstsein kommen."<sup>82</sup> In dieser interpretierten Welt ist es ungleich schwieriger als in den Naturwissenschaften, "spektakuläre Ergebnisse" zu erzielen oder "produktnah wirtschaftsstandortrelevantes Wissen" zu produzieren.<sup>83</sup> In diesem Licht ist auch die häufig defensive Selbstbeschreibung der Geisteswissenschaften zu sehen: Kritische Begleitung der Modernisierungs- und Globalisierungsprozesse, wichtige Funktion kollektiver Gedächtnisse, Hinweise auf Ethik, Bildungsfunktion.<sup>84</sup> Die Beiträge in DIE ZEIT lassen in Bezug auf die Entsorgungsforschung folgende Schlussfolgerungen zu: Wer von den Geisteswissenschaften erwartet, dass sie ethisch, kulturell, geschichtlich und gesellschaftlich fundierte "Lösungen" für ein "bestes Verfahren" bringt, dürfte wohl enttäuscht werden. In dieser Art lassen sich die Geisteswissenschaftler nicht in den Dienst der Entsorgungsforschung stellen.

Zweck ist periodisch zu hinterfragen

Die Zweckorientierung in der naturwissenschaftlich-technischen Entsorgungsforschung ist grundsätzlich positiv zu würdigen, denn nur wer ein Ziel vor Augen hat, hat auch Aussicht, dort anzukommen. Wer weiss, was er will, wird in aller Regel auch die Mittel effizient einsetzen. Die Vorteile der starken Zweckorientierung werden zu Nachteilen, wenn der Zweck nicht oder nicht mehr richtig ist. Es ist deshalb erforderlich, dass (1) die Steuerungsorgane periodisch den Zweck hinterfragen und

<sup>80</sup> von Müller Achatz (22.04.2004): Selige Apathie – Welchen Nutzen haben Germanistik, Philosophie oder Kunstgeschichte? Die Geschichte einer falsch gestellten Frage. Die Zeit 18/2004.

<sup>81</sup> Seel Martin (22.04.2004): Weltverstrickt – Das Verstehen verstehen. Über den Sinn der Geisteswissenschaften. Die Zeit 18/2004.

<sup>82</sup> Assheuer Thomas (13.05.2004): Der Wissensunternehmer. Die Zeit 21/2004.

<sup>83</sup> Nassehi Armin (06.05.2004): Wasser auf dem Mars, Leben auf der Erde – Warum die Sozialwissenschaften nützlicher sind, als ihre Kritiker ahnen. Die Zeit 20/2004.

<sup>84</sup> Nassehi Armin (06.05.2004): Wasser auf dem Mars, Leben auf der Erde – Warum die Sozialwissenschaften nützlicher sind, als ihre Kritiker ahnen. Die Zeit 20/2004.

(2) die Resultate des Hinterfragens berücksichtigen ("lernende Organisationen"). Ein wesentliches Instrument des Hinterfragens ist das in der Entsorgung sehr stark ausgeprägte schrittweise Vorgehen, dazu gehören insbesondere auch die mehrstufigen Bewilligungsverfahren. Erst wenn die Ergebnisse eines Teilschrittes belastbar sind, kann der nächste Schritt unternommen werden.<sup>85</sup>

## 7.6. Geisteswissenschaftliche Entsorgungsforschung

Die Entsorgung der radioaktiven Abfälle ist ein Thema von grossem öffentlichen Interesse, insbesondere in den Regionen, in denen Lagerstätten geplant sind. Dieses Interesse bezieht sich auf naturwissenschaftlich-technische und vor allem auch auf geisteswissenschaftliche<sup>86</sup> Fragen.

Naturwissenschaftlich-  
technischer Nachweis

Um eine Rahmenbewilligung zu erhalten, haben die Entsorgungspflichtigen nachzuweisen, dass der Schutz von Mensch und Umwelt sichergestellt werden kann (Art. 13 Abs. 1 lit. a KEG). Der gesetzlich verlangte Nachweis (Art. 13 Abs. 1 lit. a-g KEG) ist naturwissenschaftlich-technisch zu führen. Hier wird – wie bereits ausgeführt – vieles auf hohem Niveau getan.

Sozioökonomische Fragen

Den Betroffenen genügt dies allerdings nicht, sie sind auch an ganz anderen Fragen interessiert. So wurden in der Arbeitsgruppe Opalinus, Benken ZH, zahlreiche Fragen zu den Auswirkungen auf die Entwicklung der Bodenpreise, des Gewerbes und der Bevölkerung gesammelt. Diese sozioökonomischen Fragen stehen in so engem Zusammenhang mit dem potentiellen Lager im Zürcher Weinland, dass die Kosten für die Abklärungen "nach dem Verursacherprinzip der Nagra in Rechnung gestellt" werden.<sup>87</sup> Die Nagra ist gemäss eigener Einschätzung in der Regel jedoch nicht der geeignete Akteur für die Durchführung solcher Studien, sie ist aber im Sinne der Versachlichung der Diskussion bereit, die Kosten für solche Forschungsvorhaben zu übernehmen.<sup>88</sup>

Übrige  
geisteswissenschaftliche  
Fragen

Das (übrige) geisteswissenschaftliche Forschungsfeld im Bereich der Entsorgung ist viel weniger stark erforscht als das naturwissenschaftlich-technische. Eine geisteswissenschaftliche Entsorgungsforschungscommunity existiert bisher nur in Ansätzen (z.B. NEA/FSC). Die naturwissenschaftlich-technisch ausgerichteten Entsorgungsforscher halten die geisteswissenschaftliche Forschung im Grundsatz für wichtig, allerdings bestehen – dies ging deutlich aus den Experteninterviews hervor – gewisse Vorbehalte gegenüber den "weichen" Resultaten aus den Sozialwissenschaften. Von der geisteswissenschaftlichen Entsorgungsforschung wird – gleich wie von der naturwissenschaftlich-technischen Entsorgungsforschung – sehr oft

<sup>85</sup> Interview M. Fritschi und P. Zuidema, 03.12.2003.

<sup>86</sup> Definition siehe vorne, S. 10.

<sup>87</sup> Bundesamt für Energie (06.04.2004): Medienmitteilung "Sozio-ökonomische Auswirkungen von Entsorgungsanlagen".

<sup>88</sup> Interview M. Fritschi, 22.04.2004. Inwieweit die Kosten für Forschungsvorhaben, welche nicht die Sicherheit und die Sicherung von Mensch und Umwelt betreffen, nach dem Verursacherprinzip auf die Nagra abgewälzt werden können, ist eine Frage, welche – bei einem schleppenden Fortgang der Entsorgung – an Bedeutung gewinnen könnte.

erwartet, dass sie aufzeigt, welche gesellschaftlichen, politischen, psychologischen etc. Gründe der Realisierung eines Endlagers entgegenstehen und wie diese Hinderungsgründe zu beseitigen sind. Diese Aufgabe können die Geisteswissenschaften nicht oder nur zum Teil lösen (vgl. dazu vorangehendes Kapitel).

### 7.7. Festlegung der inhaltlichen Ausrichtung der Forschung

Die Abfallverursacher sind für die Entsorgung und damit auch primär für die inhaltliche Ausrichtung der Entsorgungsforschung verantwortlich. Der Einfluss anderer Akteure auf die inhaltliche Ausrichtung ist gering.

#### Verursacherprinzip

Gemäss KEG sind die Verursacher für die sichere Entsorgung ihrer radioaktiven Abfälle verantwortlich (Art. 31 Abs. 1 KEG). Wer für die Entsorgung verantwortlich ist, bestimmt aktuell auch massgeblich die Ausrichtung der Forschung. W. Wildi, Präsident der Eidg. Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen, schätzt den Anteil der durch die Abfallproduzenten bestimmten Forschung auf mehr als 80% der Forschungsinhalte, der Anteil der von den Sicherheitsbehörden vorgegebenen Forschung sei dagegen klein.<sup>89</sup> Keiner der befragten Experten war jedoch der Ansicht, dass die Nagra ihre Auftragnehmer in der Konzeption ihrer Forschung zu stark einschränkt. So bearbeitet das PSI/LES seit vielen Jahren grössere Mandate für die Nagra (jährlich > 2 Mio. CHF Auftragssumme); dabei kann es die inhaltliche Ausrichtung zum grossen Teil selber bestimmen.<sup>90</sup>

#### Alternativen

Allerdings wären nach dem Verursacherprinzip auch andere Möglichkeiten denkbar: Der Staat bestimmt, was geforscht wird, die Verursacher bezahlen. Etwa die Hälfte der Experten, die sich zu diesem Punkt geäussert haben, befürworten eine stärkere Stellung des Bundes in der Ausrichtung der Entsorgungsforschung.

#### Einfluss des Bundes

Das Engagement des Bundes in der Forschung im Allgemeinen (Bsp.: Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, SNF) und in der Technologiepolitik (Bsp.: Kommission für Technologie und Innovation, KTI) hat in den Jahren 1970 bis 1998 zugenommen.<sup>91</sup> Diese Entwicklung lässt sich in der Entsorgungsforschung nur zum Teil nachzeichnen: Auf der einen Seite hat der Bund sein Engagement beispielsweise mit der Einsetzung der "Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle" erhöht (EKRA [2000], EKRA [2002]). Auf der anderen Seite sollen die Bundesmittel für die Kernforschung gekürzt werden.<sup>92</sup> Insgesamt ist der Einfluss des Bundes auf die inhaltliche Ausrichtung der Entsorgungsforschung klein (geblieben)<sup>93</sup>, dies zum Teil auch bewusst, da der Bund Verantwortung übernehmen würde, wenn er die Inhalte der Entsorgungsforschung

<sup>89</sup> Interview W. Wildi, 30.03.2004.

<sup>90</sup> Interview J. Hadermann, 22.04.2004.

<sup>91</sup> Braun (1999): 843.

<sup>92</sup> Eidgenössische Energieforschungskommission (2004): 55.

<sup>93</sup> Der Bund ist zwar auch Genossenschafter der Nagra, er trägt jedoch nur 3% der Kosten (Nagra [2003]).

schung vorgeben würde.<sup>94</sup> In Deutschland sind die Zuständigkeiten anders verteilt. Die Forschungsarbeiten zur Endlagerung werden unter der Verantwortung der Bundesregierung durchgeführt, welche – im Gegensatz zur Kompetenzverteilung in der Schweiz – für den Bau der Endlager zuständig ist (§ 9a Abs. 3 Atomgesetz). Eine Änderung, wonach die Verantwortung auf die KKW-Betreiber übertragen werden soll, ist geplant.<sup>95</sup>

Inbesondere:  
Einfluss der HSK

Die HSK verfügt im Bereich Entsorgung nicht über genügend Ressourcen, um in der Steuerung der Forschung eine gewichtigere Rolle zu spielen. Gemäss HSK-eigener Einschätzung in der Forschungsstrategie (s. Kap. 6.3, S. 42) sind gewisse Fachkompetenzen bei der HSK im Bereich Entsorgung weiter zu entwickeln. Dazu bedürfe es auch der unabhängigen Forschung.<sup>96</sup>

Unabhängige Forschung?

Die vom Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) eingesetzte Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA) ist in Bezug auf die Forschung zu folgenden Schlüssen gekommen:<sup>97</sup> "Es besteht Bedarf an unabhängiger Forschung und Forschung zur Umsetzung der geologischen Tiefenlagerung. Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle hängt heute wesentlich von den Verursachern der Abfälle ab. Zu spezifischen, projektbezogenen Themen gibt die Nagra Untersuchungen in Auftrag. Unabhängige (Grundlagen-)Forschung an den Hochschulen fehlt weitgehend; das Ausbildungsangebot auf dem Gebiet der nuklearen Entsorgung ist gering. Dies gilt nicht nur für den naturwissenschaftlich-technischen sondern auch für den geistes- und sozialwissenschaftlichen Bereich. Kompetente und engagierte Experten sind schwer zu finden." Die Forderung nach Unabhängigkeit ist aus zwei Gründen schwierig erfüllbar: Zum einen ist es schwierig, den Begriff der Unabhängigkeit in der Entsorgungsforschung zu definieren. Von wem oder was soll die Forschung unabhängig sein? Wer an der Entsorgungsforschung beteiligt ist, ist mindestens von den regelmässigen Zahlungen des Arbeitgebers/Auftraggebers abhängig. Zum anderen sind die konkreten Vor- und Nachteile der bestehenden Abhängigkeiten in der Entsorgungsforschung nicht schlüssig nachgewiesen worden. Die bestehenden langjährigen Partnerschaften – sei es durch langjährige Aufträge, sei es durch langjährige Arbeitsverhältnisse – können dazu beitragen, dass das Wissen langfristig aufgebaut wird und erhalten bleibt, während dieses Ziel durch kurzfristige Partnerschaften, welche das Mass der Abhängigkeiten stark reduzieren würden, gefährdet wäre.

<sup>94</sup> Interview J. Vigfusson, 06.04.2004.

<sup>95</sup> Vgl. Fussnote 40.

<sup>96</sup> E-Mail J. Vigfusson, 13.05.2004.

<sup>97</sup> EKRA (2002): 9.

## 7.8. Internationale Vernetzung der Forschenden

Die in der Entsorgungsforschung tätigen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen sind international ausserordentlich gut vernetzt.

Gründe für die starke internationale Vernetzung

Es ist ein Merkmal der meisten Forschungszweige – insbesondere in den Naturwissenschaften –, dass sie international gut vernetzt sind. Im Rahmen des aktuell laufenden 6. EU-Forschungsrahmenprogramms wird die engere Zusammenarbeit von Forschungsteams in Netzen speziell gefördert. Bei den Entsorgungsforschern ist die Vernetzung bereits heute sehr stark ausgeprägt. Dies hängt zusammen mit

- dem definierten gemeinsamen Ziel (Lösung der Entsorgungsfrage). Beispielsweise pflegt die Nagra einen sehr intensiven Austausch mit ihren Schwesterorganisationen<sup>98</sup>;
- der erfolgten internationalen Aufteilung der Forschungsthemen;
- den zahlreichen internationalen Gremien (insbesondere NEA, IAEQ, gemeinsame Forschungsprogramme, EU-Kommission);
- der kleinen und übersichtlichen Forscher-Gemeinschaft<sup>99</sup>;
- der aufwändigen Infrastruktur für Experimente<sup>100</sup> (z.B. Felslabors) und
- dem hohen Grad an Öffentlichkeit der Forschungsergebnisse, welcher nicht nur auf das grosse öffentliche Interesse an den Forschungsergebnissen zurückzuführen ist, sondern auch auf die fast vollständig fehlenden Möglichkeiten, mit für sich gehaltenem Wissen neue Märkte zu erschliessen.

Chancen und Risiken der Vernetzung

Die starke Vernetzung bietet Chancen (wissenschaftlicher Austausch, freiwillige, informelle Kooperation) und Risiken (mangelnder Wettbewerb, Behinderung von Innovationen, Nepotismus). Eine aktuell favorisierte Forschungsrichtung bleibe von Bedeutung, solange man sich innerhalb einer Gruppe von Forschern gegenseitig zitiert; die Autoregulationsmechanismen würden nur beschränkt spielen.<sup>101</sup> Damit sich die Risiken nicht realisieren, sind Korrekturen erforderlich (Pflicht, die Resultate zu publizieren; internationale Diskussion der Resultate, wenn möglich auch mit Vertretern, welche nicht zur engsten Entsorgungsforschungs-Community gehören; Peer Reviewing; Berufsethos<sup>102</sup>; Forschungskommissionen; politische Aufsichtsorgane etc.).

Vernetzung der "richtigen" Partner

Für die Nagra, welche beim Zusammentragen der erforderlichen Grundlagen auf ein breites internationales Fachwissen angewiesen ist, ist von besonderer Bedeutung, dass sich nicht nur die "Entsorgungsforscher" im engeren Sinn, sondern alle Forscher vernetzen, welche zur Lösung des Entsorgungsproblems beitragen können.<sup>103</sup>

<sup>98</sup> Interview M. Fritschi und P. Zuidema, 22.04.2004.

<sup>99</sup> E-Mail J. Hadermann, 21.04.2004.

<sup>100</sup> E-Mail J. Hadermann, 21.04.2004.

<sup>101</sup> Interview W. Wildi, 30.03.2004.

<sup>102</sup> E-Mail J. Hadermann, 21.04.2004.

<sup>103</sup> Interview M. Fritschi und P. Zuidema, 22.04.2004.

## 7.9. Information und Kommunikation

Die Kommunikationskonzepte in der Entsorgungsforschung werden von den befragten Experten sehr unterschiedlich beurteilt.

Wissen;  
Vertrauen

Ein sozialwissenschaftlicher Aspekt mit besonderer Bedeutung ist die Information und Kommunikation. Die Öffentlichkeit in der Schweiz weiss wenig über die Entsorgung.<sup>104</sup> Dem "Bund" wird mangelndes Engagement bei der Information vorgeworfen.<sup>105</sup> Trotzdem trauen gemäss einer von der Nagra in Auftrag gegebenen Befragung 61% der Schweizerinnen und Schweizer den Wissenschaftlern unseres Landes zu, die sichere Entsorgung technisch realisieren zu können.<sup>106</sup> Der Wissensstand ist also offenbar genügend hoch, dass sich eine Mehrheit eine Meinung über die Entsorgung bilden kann. In der EU ergab eine Befragung beträchtliche Unterschiede im Wissensstand: Während in Schweden und Finnland sich nur 12 beziehungsweise 16% der Personen als "not at all well informed" bezeichneten, lag dieser Anteil in Belgien bei fast der Hälfte.<sup>107</sup>

Informationsstrategie Nagra

Die Nagra setzt sich zum Ziel, mit den Betroffenen zu kommunizieren und klar und transparent zu informieren. Dies setze in erster Linie Sozialkompetenz voraus.<sup>108</sup> Wenn die Nagra die Kommunikation und Information durch vertiefende Forschung in den Sozialwissenschaften verbessern wolle, könne dies leicht als Versuch interpretiert werden, die "Leute tiefenpsychologisch über den Tisch zu ziehen".<sup>109</sup> Gemäss Beurteilung von Prof. R. Scholz, Naturwissenschaftler und Psychologe, setzt die Nagra jedoch zu stark auf die Vermittlung von Wissen. Im Bereich der Entsorgung sei es aber wichtig, vor allem darüber zu informieren, wo die Grenzen des Wissens verlaufen.<sup>110</sup>

Rolle des Staates

In der Botschaft zur Förderung von Bildung, Forschung und Technologie in den Jahren 2004–2007 schreibt der Bundesrat unter dem Titel "Der Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft und die Bewertung neuer Technologien", dass immer dann ein Graben entsteht, wenn einerseits die wissenschaftliche Gemeinschaft die Anliegen, Fragen und Bedürfnisse der Gesellschaft zu wenig berücksichtigt und sich andererseits die Gesellschaft wenig mit der Wissenschaft auseinandersetzt. Dieser Graben ist niemandem förderlich – weder der Gesellschaft, welcher der tatsächliche Nutzen gewisser Technologien und deren wirtschaftliche Auswirkungen zu entgehen drohen, noch der Wissenschaft, deren Entwicklungen blockiert, verlangsamt oder in Länder mit weniger prohibitiven Regelungen abgedrängt werden. Deshalb gehört es heute zu den Aufgaben der öffentlichen Hand und in die Verantwortung des Staates, die Verständigung zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zu verbessern und einen Raum zu schaffen, wo der wissenschaftliche Fortschritt öffentlich hinterfragt werden kann.<sup>111</sup>

<sup>104</sup> Interview R. Scholz, 06.04.2004. Diese Aussage gilt auch für die EU (vgl. Taylor [2003], der verschiedene Umfragen in der EU (Eurobarometer 50, 56.2 und 57) zum Thema Entsorgung radioaktiver Abfälle zusammenfasst.

<sup>105</sup> Interview S. Löw, 24.03.2004.

<sup>106</sup> Nagra Pressemitteilung, 16.03.2004.

<sup>107</sup> IAEA Bulletin 44/2/2002, S. 44.

<sup>108</sup> Interview M. Fritschi und P. Zuidema, 03.12.2003.

<sup>109</sup> Interview M. Fritschi und P. Zuidema, 03.12.2003.

<sup>110</sup> Interview R. Scholz, 06.04.2004.

<sup>111</sup> BBI 2002 2464.

Information und  
Kommunikation durch das  
BFE

Transparente Information und Kommunikation spielt in einem politisch sensiblen Bereich wie der nuklearen Entsorgung eine entscheidende Rolle. Deshalb hat das BFE die Öffentlichkeitsarbeit verstärkt. Im Zusammenhang mit dem Entsorgungsnachweis Opalinuston im Zürcher Weinland wurden seit 2001 schweizerische und deutsche Behörden an vier Veranstaltungen über den Stand der Entsorgung orientiert. Am 25. Oktober 2003 wurde erstmals die Bevölkerung zu einer Informationsveranstaltung eingeladen. Mit einer Standausstellung, zwei kurzen Referatsblöcken und einer längeren Diskussionsrunde wurde die interessierte Öffentlichkeit in Trüllikon (Kanton Zürich) über den Stand des Entsorgungsnachweises und das weitere Vorgehen informiert. Weiter hat das BFE zwei Informationsbroschüren zur Entsorgung verfasst und im Zusammenhang mit dem Entsorgungsnachweis Zürcher Weinland eine grenzüberschreitende Arbeitsgruppe Information und Kommunikation eingesetzt.<sup>112</sup>

---

<sup>112</sup> Abschnitt gemäss M. Aebersold, Bundesamt für Energie, 15.06.2004.

## 8. Forschungsbedarf

Auf Grund der Ergebnisse dieser Studie lassen sich zum Forschungsbedarf folgende Aussagen machen:

### 8.1. Naturwissenschaftlich-technische Fragen

Vorbemerkung

Die naturwissenschaftlich-technische Forschung zur Tiefenlagerung ist ein eigenständiges Fachgebiet, das nur von Wissenschaftlern angemessen beurteilt werden kann, die selber in diesem Fachgebiet tätig und damit Teil der Entsorgungsforschungsgemeinschaft sind.

Konzept Tiefenlagerung unbestritten

Das Konzept der Lagerung der Abfälle in tiefen geologischen Schichten wurde durch die kontinuierliche Erweiterung der Erkenntnisse nicht in Frage gestellt, sondern vielmehr bestätigt. Die Schweiz hat sich im Kernenergiegesetz für dieses Konzept, allerdings mit schweizerischen Besonderheiten (Rückholbarkeit, Beobachtungsphase), entschieden.

Naturwissenschaftlich-technischer Forschungsbedarf

Es liegen keine Hinweise vor, welche grundsätzliche Zweifel am naturwissenschaftlich-technischen Forschungsbedarf angezeigt lassen, wie er von der Nagra aufgezeigt wird. Das gewählte schrittweise Vorgehen soll es ermöglichen, die noch offenen Fragen zum richtigen Zeitpunkt und mit dem angepassten Tiefgang zu beantworten. Das internationale Reviewteam zum Projekt Opalinuston (NEA 2004, vgl. Zusammenstellung in Kap. 6.1), die HSK (Kap. 6.3) und die befragten Experten empfehlen gewisse Ergänzungen beziehungsweise leicht andere Schwerpunktsetzungen. Im folgenden wird der Forschungsbedarf zusammengestellt, wie er von den verschiedenen Akteuren für BE/HAA (Nagra, NEA, vgl. Kap. 6.1) beziehungsweise für die Entsorgung generell (PSI/LES, vgl. Kap. 6.2; HSK, vgl. Kap. 6.3; Experten) aufgezeigt wird:

Forschungsbedarf gemäss Nagra (2002a)

- Standorterkundung: gezielte Abklärungen z.B. bezüglich bautechnischer Verhältnisse in grösserer Tiefe
- Stofftransporteigenschaften und -prozesse: Laborversuche und Experimente im Felslabor Mont Terri für ein vertiefteres Verständnis der Diffusionsprozesse
- Selbstabdichtungsvermögen: Untersuchungen im Felslabor Mont Terri
- Geochemische Bedingungen: Vertiefung der Kenntnisse z.B. zum Redoxpotential oder pH/pCO<sub>2</sub> durch Anwendung besserer Methoden
- Gasfreisetzung: Verbesserung des Kenntnisstandes bezüglich Gasfreisetzung durch weitere Laborversuche und komplexere Feldexperimente
- Bautechnische Eigenschaften, Felsmechanik: Referenztiefe 600 ± 50 m. Für weitere Tiefen und für ein besseres Verständnis der bautechnischen Erfahrungen von Tunnelbauten in grösserer Tiefe sind zusätzliche Untersuchungen erforderlich.

## Empfehlungen NEA (2004)

- Inventar und Quellterme: Die Nagra soll in zukünftigen Sicherheitsanalysen darauf hinwirken, bessere Abschätzungen von Radionukliden für HAA und LMA zu erarbeiten.
- Behälter und Gebinde für HAA/BE: Obwohl das IRT Stahl als angemessenes Behältermaterial beurteilt, soll die Option Kupferbehälter beibehalten werden.
- Abfallmatrix für verglaste HAA: Die Nagra soll die internationalen Forschungsprogramme verfolgen, die auf die Entwicklung eines verbesserten Prozessverständnisses und von mathematischen Modellen für die Langzeitauflösung von verglasten HAA unter Lagerbedingungen abzielen.
- Verfüllmaterialien für BE/HAA: Die Forschung zum Verhalten des Verfüllmaterials Bentonits unter erhöhten Temperaturen sei fortzusetzen; die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie Grossversuche zur Verwendung von Bentonitgranulat als Verfüllmaterial seien fortzuführen; die möglichen Wechselwirkungen zwischen der Bentonitbarriere und anderen Komponenten des Lager-systems seien weiter zu untersuchen.
- Verfüllmaterialien für LMA: Die Entwicklung von alternativen Zementen, die auf eine Verringerung der chemischen Wechselwirkungen zwischen Verfüllmaterialien und Geosphäre abzielen, seien zu verfolgen.
- Opalinuston-Barriere: Die Anstrengungen im Gebiet der geochemischen Rückhaltung seien fortzuführen; die Untersuchungen zum Nagra-Ansatz, der auf der Verwendung von Kd-Werten aus Batch-Sorptionsexperimenten in der Sicherheitsanalyse beruht, seien fortzusetzen; die Stichhaltigkeit der Verwendung natürlicher Analoga sei nachzuweisen; die Diffusionsprozesse im Opalinuston seien vertiefter auszuarbeiten.
- Gasproduktion, Gastransport: Die experimentellen Untersuchungen der Gastransportprozesse seien fortzuführen; die Modellierung der Gastransportprozesse in Hinsicht auf eine erhöhte Durchlässigkeit infolge Mikroriss-Erzeugung zu verbessern.
- Rahmengesteine: Weitere Untersuchungen der Rahmengesteine auf einer lokalen und regionalen Ebene seien geeignet, um die Transportpfade in die Biosphäre besser zu verstehen.
- Systementwicklung: Vor der endgültigen Auslegung der Untertagebauten sei eine sorgfältigere Analyse der Wiederaufsättigungsphase nach dem Lagerverschluss durchzuführen; in zukünftigen Berichten zur Analyse der Systeme seien die Folgen der globalen Erwärmung vertieft zu diskutieren.
- Biosphäre: Das Expertenwissen über die Biosphärenmodellierung sei zu erhalten; der Fortschritt in der ökologischen Risikoanalyse sei zu verfolgen; in den zukünftigen Sicherheitsanalysen sei eine formale Behandlung des Gaspfades vorzusehen.

## Forschungsbedarf in der regulatorischen Sicherheitsforschung (HSK)

- Methodik für Sicherheitsanalysen und Szenarienanalysen zum Nachweis der Endlagersicherheit: Weiterentwicklung von Methoden für Sicherheitsanalysen und Szenarienanalysen, Erarbeitung von weiteren Sicherheitsindikatoren und -kriterien für die Entsorgung. Beurteilung der technischen Barrieren des Endla-

gers aus materialwissenschaftlicher Sicht im Hinblick auf ihr Einschlussvermögen für die Radionuklide.

- Langzeitverhalten der geologischen Barrieren: Ermittlung des Ist-Zustandes und des Langzeitverhaltens der geologischen Barrieren unter Einfluss des Lagers, unter Berücksichtigung biologischer, chemischer und physikalischer Prozesse. Felsmechanik.
  - Langzeitverhalten der technischen Barrieren im Nahfeld: Dieser Bereich umfasst die Untersuchung und Beurteilung von langsam ablaufenden physikalischen und chemischen Prozessen in einem Tiefenlager (Wiederaufsättigung, Wärmeausbreitung, Korrosion, Diffusion, Sorption, etc.).
  - Konkretisierung des Konzeptes geologischer Tiefenlager: Ausarbeitung der technischen Fragestellungen für die Umsetzung der Gesetzgebung (Verordnung) bezüglich geologischer Tiefenlager, insbesondere Auslegung des Pilotlagers, zu beobachtende Prozesse und entsprechende Messinstrumentierung.
- Empfehlungen aus den Experteninterviews
- Vertiefung der biologischen Aspekte
  - Weiterentwicklung der Methoden zur Risikobewertung im Bereich der Sicherheitsanalyse für geologische Tiefenlager
  - Erforschung anderer Sedimentgesteine

Entsorgungsprogramm als Instrument der Forschungspolitik nutzen

Im neuen Kernenergiegesetz wird das Instrument des Entsorgungsprogramms verankert (Art. 32 KEG und Art. 52 E-KEV). Dieses kann von den Entsorgungspflichtigen (Nagra) genutzt werden, um die zukünftige Ausrichtung der Entsorgungsforschung festzulegen und vom Bundesrat genehmigen zu lassen. Das Entsorgungsprogramm kann auch im Dialog mit der Öffentlichkeit zu einem wesentlichen Instrument werden. Die periodische Anpassung des Entsorgungsprogramms bildet die Voraussetzung für einen permanenten Dialog der Forschungsbeteiligten.

Alternativen und Ergänzungen zum Konzept der geologischen Tiefenlagerung

Offen ist die Frage, ob und inwieweit sich die Schweiz an den Forschungen zu "Alternativen"<sup>113</sup> und Ergänzungen<sup>114</sup> zum Konzept der geologischen Tiefenlagerung in der Schweiz beteiligen oder ob sie im Sinne einer Mittelkonzentration ganz auf die geologische Tiefenlagerung in der Schweiz setzen soll.

Die Diskussion um die inhaltliche Ausrichtung innerhalb der naturwissenschaftlich-technischen Forschungsgemeinschaft läuft und wird offen ausgetragen. Die vorliegende Studie vermag keinen zusätzlichen Bedarf bei den naturwissenschaftlich-technischen Entsorgungsfragen aufzuzeigen.

<sup>113</sup> Im Vordergrund stehen die langfristige Oberflächenlagerung, welche – wie bereits ausgeführt – keine gleichwertige Alternative zur geologischen Tiefenlagerung ist (deshalb wird der Ausdruck "Alternativen" in Anführungs- und Schlusszeichen gesetzt), und die Suche nach einem gemeinsamen Lagerstandort (vgl. das im Rahmen des 6. EU-Forschungsrahmenprogramms durchgeführte Projekt SAPIERR Support Action for a Pilot Initiative on Regional Repositories mit Beteiligung eines Schweizer Partners, vgl. dazu auch [www.arius-world.org](http://www.arius-world.org)).

<sup>114</sup> Partitioning und Transmutation.

## 8.2. Geisteswissenschaftliche Forschung

Wenig  
geisteswissenschaftliche  
Entsorgungsforschung

Geisteswissenschaftliche Entsorgungsforschung ist in Bezug auf die eingesetzten Ressourcen im Vergleich zur naturwissenschaftlich-technischen Forschung unbedeutend. Das Forschungsfeld ist denn auch zum grossen Teil noch unberührt. Diese Aussage trifft jedoch nur dann zu, wenn man die geisteswissenschaftliche Entsorgungsforschung auf diejenige Forschung beschränkt, welche unmittelbar in Zusammenhang mit der Entsorgung steht. Die meisten der im Folgenden aufgeführten Themen wurden und werden in den Geisteswissenschaften erforscht, allerdings selten mit dem Fokus "Entsorgung radioaktiver Abfälle". Die geisteswissenschaftliche Entsorgungsforschung muss deshalb nicht bei Null beginnen, vielmehr geht es darum, das vorhandene Wissen für und in der Entsorgungsforschung aufzuarbeiten.

Einigkeit im Grundsatz, nicht  
aber über die Inhalte

Bei den befragten Experten besteht über die inhaltliche Ausrichtung keine Einigkeit. Einigkeit besteht im Grundsatz darüber, dass die geisteswissenschaftliche Entsorgungsforschung nötig ist, auch wenn einige der befragten Experten den Resultaten der Sozialwissenschaften mit gewissen Vorbehalten begegnen. Ergebnisse aus sozialwissenschaftlichen Studien beziehen sich in der Regel auf konkrete Projekte und seien deshalb kaum verallgemeinerbar oder dann nur in einer sehr allgemeinen Form.

Die in den Experteninterviews sowie von der HSK im Strategiepapier "Regulatorische Sicherheitsforschung" vorgeschlagenen und durch die Autoren ergänzten Themenkomplexe können in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Entscheidungstheorie, Entscheidungsprozesse, Entscheidmechanismen unter unvermeidbarer Unsicherheit (insbesondere Szenarien der gesellschaftlichen Entwicklung), institutionelle Planung und zeitliche Abläufe, Partizipation, Aufzeigen der kritischen Faktoren bei der Realisierung der Entsorgungsprojekte.
- Wirtschaftliche Fragen (Auswirkungen auf die wirtschaftliche Entwicklung der Standortregionen, Langzeitfinanzierung)
- Rechtliche Fragen (Rechtsstatus / Militärstatus des Endlager-Standortes), Einordnung der Entsorgung in die Landesplanung
- Risikowahrnehmung, Risikoakzeptanz und Risikokommunikation
- Wissensmanagement, Erhalt des Know-hows, Sicherstellung der Kontinuität
- Aufarbeitung der Geschichte zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle<sup>115</sup>
- Dynamik von Wertfragen der Gesellschaft
- Systematische Aufarbeitung des Begriffs "Nachhaltigkeit" im Entsorgungsreich.

Klärung einer Vorfrage

Die geisteswissenschaftlichen Fragestellungen in der Entsorgungsforschung sind nicht so weit herausgearbeitet und strukturiert wie die naturwissenschaftlich-

<sup>115</sup> Zur Geschichte der Endlagerung radioaktiver Abfälle 1945-87: Vgl. Buser (1988).  
Zu Entscheidungsprozessen bei der Entsorgung: Vgl. Diss. Flüeler (2002).  
Einen kritischen Überblick über ein halbes Jahrhundert Schweizer Kernenergie gibt Boos (2000).  
Zu den Themen Atomtechnologieentwicklung und KKW Kaiseraugst wurden kürzlich zwei Dissertationen veröffentlicht (Kupper [2003], Wildi [2003]).

technischen Fragen. Noch bevor die inhaltliche Ausrichtung festgelegt werden kann, ist eine Vorfrage zu klären: Welche Rolle soll der geisteswissenschaftlichen Forschung in der Entsorgungsforschung zukommen? Sollen ihre Resultate – analog zu den naturwissenschaftlich-technischen Resultaten – dazu verwendet werden, das Ziel der sicheren Entsorgung der Abfälle zu erreichen? Sollen die Erkenntnisse der Geisteswissenschaften gewissermassen Grundlagen für Marketingmassnahmen liefern, welche helfen, dem Ziel "demokratisch legitimierte Genehmigung eines konkreten Entsorgungsvorhabens" näher zu kommen?<sup>116</sup>

Im Bereich der geisteswissenschaftlichen Entsorgungsforschung gibt es zahlreiche offene Fragen. In einem ersten Schritt ist zusammenzustellen, welche Forschungsarbeiten aus "verwandten" Gebieten für die Entsorgungsforschung relevant sind. In einem zweiten Schritt sind die Fragestellungen zu vertiefen, zu strukturieren und nach ihrer Forschungswürdigkeit zu priorisieren.

### 8.3. Inter- und transdisziplinäre Forschung

Entsorgungsforschung befasst sich mit Fragestellungen, welche häufig mehrere Fachbereiche betreffen. "Die Entwicklung der Forschung zeigt, dass bedeutende wissenschaftliche Durchbrüche und Innovationen heute vor allem an den Schnittstellen disziplinär abgegrenzter Forschungsbereiche stattfinden."<sup>117</sup> Es scheint deshalb auch im Bereich der Entsorgungsforschung gerechtfertigt, inter- und transdisziplinäre Projekte vermehrt zu fördern. Die Forschungsinstitutionen haben die nötigen strukturellen Voraussetzungen für eine verstärkte Beteiligung der Geisteswissenschaften in der Entsorgungsforschung zu schaffen. Bisher ist es nur zum Teil gelungen, das Interesse der Geisteswissenschaften an der Entsorgungsforschung zu wecken. Im Weiteren sind Fachleute, die ausserhalb der Wissenschaftswelt stehen, wie auch Akteure auf Entscheidungs- und Anwendungsebene, vermehrt und frühzeitig in die Forschungsprojekte einzubeziehen, beispielsweise durch periodische gemeinsame Konferenzen. Hier leistet das NEA-Forum on Stakeholder Confidence Beiträge, z.B. mit Workshops in verschiedenen Ländern, welche verschiedenste Interessenvertreter zusammenbringen (vgl. Kap. 4.1).

Der inter- und transdisziplinären Entsorgungsforschung ist vermehrt Beachtung zu schenken.

<sup>116</sup> Vgl. dazu eine der sechs Zielsetzungen des 5. EURATOM-Rahmenprogramms (1998-2002): "Verbesserte Methoden einführen, um das Vertrauen der Öffentlichkeit zu gewinnen".

<sup>117</sup> Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Technologie in den Jahren 2004–2007 (BBI 2002 2420).

#### 8.4. Zuständigkeiten in und Finanzierung der Entsorgungsforschung

Rolle des Staates

Bei der Frage, wie weit die staatlichen Aufgaben und Kompetenzen in der Entsorgungsforschung gehen sollen, lagen die Meinungen der befragten Experten weit auseinander. Die Autoren der vorliegenden Studie haben keine durchschlagenden Argumente für einen vermehrten staatlichen Einfluss auf die inhaltliche Ausrichtung der Entsorgungsforschung in der Schweiz gefunden. Dies schliesst allerdings nicht aus, dass der Staat bei der Koordination der Entsorgungsforschung stärker aktiv wird. Möglichkeiten zur staatlichen Einflussnahme auf die inhaltliche Ausrichtung und die Koordination sind vorhanden: Z.B. über die Energieforschungskommission oder über die im neuen Kernenergiegesetz vorhandene ausdrückliche Ermächtigung des Bundes, für Forschungsvorhaben im Zusammenhang mit Kernanlagen Gebühren bei den Inhabern von Kernanlagen beziehungsweise bei den Gestuchstellern zu erheben (Art. 83 Abs. 1 lit. d KEG). Er kann damit selber Forschungsvorhaben durchführen oder solche durchführen lassen, ohne Steuermittel einzusetzen.

Es wird empfohlen, dass Bundesinstitutionen – z.B. die KSA oder der Schweizerische Nationalfonds – bei der Koordination der technisch/naturwissenschaftlichen und vor allem der geisteswissenschaftlichen Entsorgungsforschung eine wichtigere Rolle spielen.

Naturwissenschaftlich-technische Ausrichtung

Im Wesentlichen bestimmt und finanziert die Nagra die naturwissenschaftlich-technische Entsorgungsforschung in der Schweiz, wobei die Ausrichtung in Übereinstimmung mit der internationalen naturwissenschaftlich-technischen Forschungsgemeinschaft steht.

Um eine (vollständige) Abhängigkeit von der Nagra zu vermeiden, ist sicherzustellen, dass auch die HSK und die Universitäten – in Zusammenarbeit und in Ergänzung zur Nagra – naturwissenschaftlich-technische Entsorgungsforschung betreiben können, welche nicht direkt von der Nagra finanziert wird.

Geisteswissenschaftliche Ausrichtung

Eine geisteswissenschaftliche Entsorgungsforschungs-Gemeinschaft existiert in der Schweiz bisher nur in Ansätzen. Die Forschung, welche in einem direkten Zusammenhang zu den Aufgaben der Entsorgungspflichtigen steht (z.B. sozioökonomische Auswirkungen von Endlagervorhaben), ist von den Entsorgungspflichtigen zu leisten. Hingegen ist es nicht Aufgabe der Entsorgungsverantwortlichen, geisteswissenschaftliche Forschung zu betreiben, welche nicht im Zusammenhang mit dem Ziel der Entsorgungspflichtigen, "sichere Entsorgung", steht. Diese Forschung fällt in den Aufgabenbereich des Staates, in erster Linie des Bundes (Art. 64 BV).

Sofern die in Kap. 8.2 empfohlene Massnahme – in Übereinstimmung mit der Einschätzung der Autoren dieser Studie – einen Bedarf an geisteswissenschaftlicher Entsorgungsforschung aufzeigt, welche nicht direkt der sicheren Entsorgung dient, hat der Staat die entsprechenden Mittel bereitzustellen (z.B. Nationaler Forschungsschwerpunkt des Schweizerischen Nationalfonds).

## 9. Quellen

- Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte [AkEnd] (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte – Empfehlungen des AkEnd. Köln, Dezember 2002.
- Arzt Gunther (1996): Einführung in die Rechtswissenschaft. Helbing und Lichtenhahn, Basel. 167 S.
- BFE (2002): Energie-Forschung 2001 – Überblicksberichte der Programmleiter. Bern 30.04.02.
- Boos Susan (2000): Strahlende Schweiz, Handbuch zur Atomwirtschaft. Rotpunkt Verlag. 440 S.
- Braun Dietmar (1999): Bildungs-, Wissenschafts- und Kulturpolitik. In: Klöti Ulrich et. al: Handbuch der Schweizer Politik. Zürich, 2. Aufl., S. 841-880.
- Buser Marcos (1988): Mythos "Gewähr" – Geschichte der Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz 1945-1987. Zürich.
- Eidgenössische Energieforschungskommission CORE (1999): Konzept der Energieforschung des Bundes 2000-2003. 31.05.1999. Bundesamt für Energie, Bern. 48 S.
- Eidgenössische Energieforschungskommission CORE (2004): Konzept der Energieforschung des Bundes 2004 bis 2007. 60 S.
- Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle, EKRA (2000): Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle. 31. Januar 2000. Bern. 91 S.
- Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle, EKRA (2002): Beitrag zur Entsorgungsstrategie für die radioaktiven Abfälle in der Schweiz. Oktober 2002. Bern. 15 S. (sowie französische Version) plus Anhang 35 S.
- Flüeler Thomas (2002): Radioaktive Abfälle in der Schweiz – Muster der Entscheidungsfindung in komplexen soziotechnischen Systemen. Band I – Haupttext. Diss. ETH Zürich.
- Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft (2002): Zusammenfassung des Programms Nukleare Sicherheitsforschung. Zusammenge stellt von den Forschungszentren Karlsruhe und Jülich. 23.10.2002. 7 S.
- Gruppe Ökologie (2001): Vergleichende Bewertung von Entsorgungsoptionen für radioaktive Abfälle. Abschlussbericht. Im Auftrag des Forschungszentrums Karlsruhe, Projektträger des BMBF und BMWi für Wassertechnologie und Entsorgung. 99 S. plus Anhang von 160 S.
- Hadermann Jörg, Hosemann Peter J. und de Reyff Christophe (2002): Mit Sicherheit entsorgt – Das PSI schafft die Grundlagen zur Beurteilung von Standorten und Lagersystemen. ENET-NEWS, Dezember 2002, S. 36-37.

- HSK (2003): Strategiepapier – Regulatorische Sicherheitsforschung der HSK. Entwurf. Mai 2004.
- IAEA (2003): Issues and Trends in Radioactive Waste Management. Proceedings of an International Conference, Vienna, 9-13 December 2002. 617 S.
- KOM(2003)32 endg.: Vorschlag für eine Richtlinie (Euratom) des Rates zur Festlegung grundlegender Verpflichtungen und allgemeiner Grundsätze im Bereich der Sicherheit kerntechnischer Anlagen sowie Vorschlag für eine Richtlinie (Euratom) des Rates über die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle. Von der EU-Kommission am 30.01.2003 vorgelegt.
- Kupper Patrick (2003): Atomenergie und gespaltene Gesellschaft. Die Geschichte des gescheiterten Projektes Kernkraftwerk Kaiseraugst. Chronos, Zürich.
- Laboratory for Waste Management (2003): Progress Report – September 2002 to September 2003. 115 S.
- McCombie Charles (2003): International Perspectives – Reprocessing, Storage and Disposal. Vortrag gehalten am National Meeting 2003 der National Academy of Engineering. Abrufbar unter [www.nae.edu](http://www.nae.edu).
- Nagra (2002a): Projekt Opalinuston – Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse – Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. NTB 02-03.
- Nagra (2002b): Projekt Opalinus Ton – Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers. Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. NTB 02-02.
- Nagra (2002c): Project Opalinus Clay – Safety Report. Demonstration of disposal feasibility for spent-fuel, vitrified high level waste and long-lived intermediate-level waste (Entsorgungsnachweis). NTB 02-05.
- Nagra (2003): Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle – (Firmenprofil mit Entstehungsgeschichte, Organisation und Kernkompetenzen). Wettingen. 4 S.
- NEA (1999a): Domaines stratégiques de la gestion des déchets radioactifs – Position de l'AEN de la gestion des déchets radioactifs et orientations de ses travaux. OCDE, Paris. 27 S.
- NEA (1999b): Progress Towards Geological Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand? An International Assessment. OECD, Paris. 27 S.
- NEA (2003a): Engineered Barrier Systems and the Safety of Deep Geological Repositories. State-of-the-Art Report in co-operation with the European Commission (EUR 19964 EN). OECD, Paris.
- NEA (2003b): SAFIR 2: Belgian R&D Programme on the Deep Disposal of High-level and Long-lived Radioactive Waste. OECD, Paris.

- NEA (2003c): NEA Annual Report 2002. OECD, Paris.
- NEA (2003d): Public Information, Consultation and Involvement in Radioactive Waste Management – An International Overview of Approaches and Experiences. Radioactive Waste Management Committee, Forum on Stakeholder Confidence. NEA/RWM/FSC(2003)4, 05-Mar-2003. OECD, Paris. 81 S.
- NEA (2003e): The Potential Impacts on Repository Safety from Potential Partitioning and Transmutation Programme. Radioactive Waste Management Committee, Integration Group for the Safety Case (IGSC). Topical Session Proceedings of the 4<sup>th</sup> IGSC Meeting, held on 6th November 2002 in Paris, France. 107 S.
- NEA (2004): Die Sicherheit der geologischen Tiefenlagerung von BE, HAA und LMA in der Schweiz – Eine internationale Expertenprüfung der radiologischen Langzeitsicherheitsanalyse der Tiefenlagerung im Opalinuston des Zürcher Weinlands. Bericht Nr. 5569. 139 S.
- NZZ (07.11.02): Die nukleare Sicherheit als Aufgabe der EU – Kommissionskonzept für einheitliche Rechtsvorschriften. S. 3.
- NZZaS (23.11.2003): Schule für Zauberlehrlinge [Bericht über ITC, School of Underground Waste Storage and Disposal].
- Papay Lawrence T. (2003): The Science and Politics of Radioactive Disposal. The Bridge, Vol. 33, Nr. 3.
- Posiva (2003a): ONKALO – Underground Characterisation and Research Programme (UCRP). Report 2003-3. 143 S.
- Posiva (2003b): Strategy for Construction and Investigation Planning. Working Report 2003-28. 126 S.
- PSI/LES (2004): Report for the Audit 2004. 41 S. plus Anhänge.
- Sander Hans Heinrich (2004): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland: Gesamtstaatliche Verantwortung für die Zukunft. atw, 49. Jahrgang, Heft 7, S. 482-484.
- SKB (2001): RD&D-Programme 2001, Programme for research, development and demonstration of methods for the management and disposal of nuclear waste. Technical Report, TR-01-30, Stockholm, September 2001.
- SKB (2003): Activities 2002. Stockholm.
- STUK (May 2003): Safeguards for final disposal of spent nuclear fuel – Methods and technologies for the Olkiluoto site. Helsinki.
- Taylor D. M. (2003): The Management of Radioactive Waste in the European Union – Opinions, Situation and Proposal for Changes. Notizen zu einem Vortrag an der Konferenz "Decommissioning Challenges: an Industrial Reality", Avignon (FR), 23.-28.11.2003. Abrufbar unter [www.europa.eu.int/comm/energy/nuclear/publications/doc/avignon\\_dmt.pdf](http://www.europa.eu.int/comm/energy/nuclear/publications/doc/avignon_dmt.pdf)

WASSC (2002): Report of the thirteenth meeting 25-28 March 2002, Vienna.

Wildi Tobias (2003): Der Traum vom eigenen Reaktor. Die schweizerische Atom-technologieentwicklung 1945-1969. Chronos, Zürich.

Wildi Walter (2002): Die richtige Lagerung radioaktiver Abfälle – Ekra-Konzept geht auf viele Dilemmas ein. NZZ 10.01.01, S. 13.

Williams Laurence, Clein Diana, Subasic Damir (2003): Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management – First Review Meeting of the contracting Parties, 3 to 14 November 2003, Austria. Summary Report. JC/RM1/06/Final version.

## 10. Auszug aus dem KEG (Regelung der Entsorgung)

### 5. Kapitel: Radioaktive Abfälle

#### 1. Abschnitt: Allgemeines

- Art. 30 Grundsätze
- 1 Mit radioaktiven Stoffen ist so umzugehen, dass möglichst wenig radioaktive Abfälle entstehen.
  - 2 Die in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle müssen grundsätzlich im Inland entsorgt<sup>118</sup> werden.
  - 3 Radioaktive Abfälle müssen so entsorgt werden, dass der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist.
- Art. 31 Pflicht zur Entsorgung
- 1 Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist verpflichtet, die aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle auf eigene Kosten sicher zu entsorgen. Zur Entsorgungspflicht gehören auch die notwendigen Vorbereitungsarbeiten wie Forschung und erdwissenschaftliche Untersuchungen sowie die rechtzeitige Bereitstellung eines geologischen Tiefenlagers<sup>119</sup>.
  - 2 Die Entsorgungspflicht ist erfüllt, wenn:
    - a. die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden sind und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase<sup>120</sup> und den allfälligen Verschluss<sup>121</sup> sichergestellt sind;
    - b. die Abfälle in eine ausländische Entsorgungsanlage verbracht worden sind.
  - 3 Wird die Rahmenbewilligung für ein Kernkraftwerk auf einen neuen Inhaber übertragen (Art. 66 Abs. 2), sind der bisherige und der neue Inhaber für die bis zur Übertragung der Bewilligung angefallenen Betriebsabfälle und abgebrannten Brennelemente entsorgungspflichtig.
  - 4 Die entsorgungspflichtige Gesellschaft darf sich nur mit Zustimmung des Departements auflösen.
- Art. 32 Entsorgungsprogramm
- 1 Die Entsorgungspflichtigen erstellen ein Entsorgungsprogramm. Dieses enthält auch einen Finanzplan bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen. Der Bundesrat legt die Frist fest, innert der das Programm zu erstellen ist.
  - 2 Die vom Bundesrat bezeichnete Behörde überprüft das Programm. Das Departement unterbreitet es dem Bundesrat zur Genehmigung.
  - 3 Die vom Bundesrat bezeichnete Behörde überwacht die Einhaltung des Programms.
  - 4 Die Entsorgungspflichtigen müssen das Programm periodisch an veränderte Verhältnisse anpassen.
  - 5 Der Bundesrat erstattet der Bundesversammlung regelmässig Bericht über das Programm.
- Art. 33 Entsorgung durch den Bund
- 1 Der Bund entsorgt:
    - a. die radioaktiven Abfälle, die nach Artikel 27 Absatz 1 des StSG7 abgeliefert worden sind;
    - b. die übrigen radioaktiven Abfälle auf Kosten des Entsorgungsfonds, wenn der Entsorgungspflichtige seinen Pflichten nicht nachkommt.
  - 2 Er kann zu diesem Zweck:
    - a. sich an erdwissenschaftlichen Untersuchungen beteiligen oder selber solche durchführen;
    - b. sich am Bau und Betrieb einer Entsorgungsanlage beteiligen oder selber eine solche errichten und betreiben.

<sup>118</sup> Entsorgung: Konditionierung, Zwischenlagerung und Lagerung radioaktiver Abfälle in einem geologischen Tiefenlager (Art. 3 lit. b KEG).

<sup>119</sup> Geologisches Tiefenlager: Anlage im geologischen Untergrund, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird (Art. 3 lit. c KEG).

<sup>120</sup> Beobachtungsphase: längerer Zeitraum, während dessen ein geologisches Tiefenlager vor dem Verschluss überwacht wird und die radioaktiven Abfälle ohne grossen Aufwand zurückgeholt werden können (Art. 3 lit. a KEG)

<sup>121</sup> Verschluss: Verfüllen und Versiegeln aller untertägigen Teile und des Zugangstollens des geologischen Tiefenlagers nach Abschluss der Beobachtungsphase (Art. 3 lit. l KEG).

## Art. 34 Umgang mit radioaktiven Abfällen

1 Für den Umgang mit radioaktiven Abfällen ausserhalb von Kernanlagen gelten die Artikel 6–11 sinngemäss.

2 Für die Einfuhr von radioaktiven Abfällen aus Kernanlagen, die nicht aus der Schweiz stammen, aber in der Schweiz entsorgt werden sollen, kann ausnahmsweise eine Bewilligung erteilt werden, wenn zusätzlich zu den Voraussetzungen nach Artikel 7:

- a. die Schweiz in einer völkerrechtlichen Vereinbarung der Einfuhr der radioaktiven Abfälle zur Entsorgung zugestimmt hat;
- b. in der Schweiz eine geeignete, dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechende Entsorgungsanlage zur Verfügung steht;
- c. die Durchführstaaten der Durchfuhr zugestimmt haben;
- d. der Empfänger mit dem Absender der radioaktiven Abfälle mit Zustimmung des Ursprungsstaates verbindlich vereinbart hat, dass der Absender sie nötigenfalls zurücknimmt.

3 Für die Ausfuhr von radioaktiven Abfällen zur Konditionierung wird eine Bewilligung erteilt, wenn zusätzlich zu den Voraussetzungen nach Artikel 7:

- a. der Empfängerstaat in einer völkerrechtlichen Vereinbarung der Einfuhr der radioaktiven Abfälle zur Konditionierung zugestimmt hat;
- b. im Empfängerstaat eine geeignete, dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechende Entsorgungsanlage zur Verfügung steht;
- c. die Durchführstaaten der Durchfuhr zugestimmt haben;
- d. der Absender mit dem Empfänger der radioaktiven Abfälle mit Zustimmung der vom Bundesrat bezeichneten Behörde verbindlich vereinbart hat, dass der Absender die konditionierten und die bei der Konditionierung entstehenden oder allenfalls die noch nicht konditionierten radioaktiven Abfälle zurücknimmt.

4 Für die Ausfuhr von radioaktiven Abfällen zur Lagerung kann ausnahmsweise eine Bewilligung erteilt werden, wenn die Voraussetzungen nach Absatz 3 Buchstaben a–c erfüllt sind und zudem der Absender mit dem Empfänger der radioaktiven Abfälle mit Zustimmung der vom Bundesrat bezeichneten Behörde verbindlich vereinbart hat, dass der Absender sie nötigenfalls zurücknimmt.

## 2. Abschnitt: Erdwissenschaftliche Untersuchungen

## Art. 35 Bewilligungspflicht und -voraussetzungen

1 Erdwissenschaftliche Untersuchungen in möglichen Standortregionen, die dazu dienen, Kenntnisse im Hinblick auf ein geologisches Tiefenlager zu verschaffen, bedürfen einer Bewilligung des Departements.

2 Die Bewilligung wird erteilt, wenn:

- a. die geplanten Untersuchungen geeignet sind, die erforderlichen Grundlagen für die spätere Beurteilung der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers zu erbringen, ohne die Eignung eines Standortes zu beeinträchtigen;
- b. keine anderen von der Bundesgesetzgebung vorgesehenen Gründe, namentlich des Umweltschutzes, des Natur- und Heimatschutzes und der Raumplanung, entgegenstehen.

3 Der Bundesrat kann Untersuchungen, die nur geringfügige Beeinträchtigungen zur Folge haben, von der Bewilligungspflicht nach diesem Gesetz ausnehmen.

## Art. 36 Inhalt der Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen

1 Die Bewilligung legt fest:

- a. die Grundzüge der Untersuchungen, insbesondere die ungefähre Lage und Ausdehnung von Bohrungen und Untertagebauten;
- b. die Untersuchungen, die erst nach Freigabe durch die Aufsichtsbehörden ausgeführt werden dürfen;
- c. den Umfang der erdwissenschaftlichen Dokumentation.

2 Die Bewilligung wird befristet.

## 3. Abschnitt: Besondere Bestimmungen für geologische Tiefenlager

## Art. 37 Betriebsbewilligung

1 Für geologische Tiefenlager wird die Betriebsbewilligung erteilt, wenn zusätzlich zu den Voraussetzungen nach Artikel 20 Absatz 1:

- a. die während des Baus gewonnenen Erkenntnisse die Eignung des Standortes bestätigen;

b. die Rückholung der radioaktiven Abfälle bis zu einem allfälligen Verschluss ohne grossen Aufwand möglich ist.

2 Die Betriebsbewilligung legt den definitiven Schutzbereich des geologischen Tiefenlagers fest.

3 Sie legt Anforderungen, insbesondere Grenzwerte für die Aktivität der einzulagernden Abfälle fest. Für die Einlagerung der einzelnen Abfallsorten bedarf es der Freigabe durch die Aufsichtsbehörden.

Art. 38 Besondere Pflichten des Inhabers einer Betriebsbewilligung für ein geologisches Tiefenlager

1 Der Bundesrat kann den Inhaber einer Betriebsbewilligung für ein geologisches Tiefenlager verpflichten, die aus der Schweiz stammenden radioaktiven Abfälle zu kostendeckenden Entschädigungen zu übernehmen, sofern sie den in der Betriebsbewilligung umschriebenen Anforderungen entsprechen.

2 Der Bewilligungsinhaber muss eine vollständige Dokumentation über die bis zum Abschluss der Beobachtungsphase gewonnenen und für die Sicherheit wesentlichen Erkenntnisse, die Pläne des geologischen Tiefenlagers und das Inventar der radioaktiven Abfälle führen.

3 Solange das geologische Tiefenlager der Kernenergiegesetzgebung untersteht, darf sich die Betreibergesellschaft nur mit Zustimmung des Departements auflösen.

Art. 39 Beobachtungsphase und Verschluss

1 Der Eigentümer des geologischen Tiefenlagers muss ein aktualisiertes Projekt für die Beobachtungsphase und ein Projekt für den allfälligen Verschluss vorlegen, wenn:

a. die Einlagerung der radioaktiven Abfälle abgeschlossen ist;

b. die Betriebsbewilligung entzogen wurde oder nach Artikel 68 Absatz 1 Buchstaben a oder b erloschen ist und das Departement die Vorlage eines Projektes anordnet.

2 Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase die Verschlussarbeiten an, wenn der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist.

3 Nach ordnungsgemäsem Verschluss kann der Bundesrat eine weitere, befristete Überwachung anordnen.

4 Nach ordnungsgemäsem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist stellt der Bundesrat fest, dass das Lager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht. Der Bund kann weitergehende Massnahmen nach diesem Zeitpunkt, insbesondere eine Umweltüberwachung, durchführen.

Art. 40 Schutz des geologischen Tiefenlagers

1 Der Schutzbereich ist der Raum im Untergrund, in dem Eingriffe die Sicherheit des Lagers beeinträchtigen könnten. Der Bundesrat legt die Kriterien für den Schutzbereich fest.

2 Wer Tiefbohrungen, Stollenbauten, Sprengungen und andere Vorhaben, durch die ein Schutzbereich berührt wird, durchführen will, braucht eine Bewilligung der vom Bundesrat bezeichneten Behörde.

3 Die vom Bundesrat bezeichnete Behörde meldet nach Erteilung der Rahmenbewilligung den vorläufigen, nach Erteilung der Betriebsbewilligung den definitiven Schutzbereich beim Grundbuchamt zur Anmerkung im Grundbuch an. Die Kantone nehmen die vom Schutzbereich betroffenen Grundstücke, die nicht im Grundbuch aufgenommen sind, in das Grundbuch auf. Grundstücke, über die keine anerkannte Vermessung besteht, müssen hierfür vermessen werden (Erstvermessung oder Erneuerung der Vermessung). Der Bundesrat regelt die Einzelheiten.

4 Die Kantone sorgen dafür, dass der Schutzbereich im Richt- und im Nutzungsplan eingetragen wird.

5 Wird das Lager nicht gebaut oder nicht in Betrieb genommen, hebt die vom Bundesrat bezeichnete Behörde den vorläufigen Schutzbereich auf und ersucht das Grundbuchamt, die Anmerkung zu löschen. Die Kantone sorgen dafür, dass der Richt- und der Nutzungsplan angepasst werden.

6 Der Bundesrat sorgt dafür, dass die Informationen über das Lager, die eingelagerten Abfälle und den Schutzbereich aufbewahrt werden und die Kenntnisse darüber erhalten bleiben. Er kann entsprechende Daten anderen Staaten oder internationalen Organisationen mitteilen.

7 Der Bundesrat schreibt die dauerhafte Markierung des Lagers vor.

Art. 41 Abgabe und Verwendung von erdwissenschaftlichen Daten

1 Rohdaten und Ergebnisse, die aus den erdwissenschaftlichen Untersuchungen und während des Baus eines geologischen Tiefenlagers gewonnen wurden, sind dem Bund auf Verlangen unentgeltlich abzugeben.

2 Der Bundesrat regelt den Zugang und die Verwendung dieser Daten. Er wahrt dabei die Interessen der Eigentümer.

(...)

## 7. Kapitel: Sicherstellung der Finanzierung der Stilllegung und der Entsorgung

### Art. 77 Stilllegungsfonds und Entsorgungsfonds

- 1 Der Stilllegungsfonds stellt die Finanzierung der Stilllegung und des Abbruchs von ausgedienten Kernanlagen sowie der Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle (Stilllegungskosten) sicher.
- 2 Der Entsorgungsfonds stellt die Finanzierung der Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle und abgebrannten Brennelemente nach Ausserbetriebnahme der Kernanlagen (Entsorgungskosten) sicher.
- 3 Die Eigentümer von Kernanlagen leisten Beiträge an den Stilllegungs- und an den Entsorgungsfonds. Der Bundesrat kann Eigentümer von Anlagen mit geringen Stilllegungs- und Entsorgungskosten von der Beitragspflicht befreien.

### Art. 78 Ansprüche

- 1 Jeder Beitragspflichtige hat gegenüber den Fonds einen Anspruch im Umfang seiner geleisteten Beiträge, einschliesslich des Kapitalertrags und abzüglich des Aufwands. Dieser Anspruch kann nicht veräussert, verpfändet, gepfändet oder zur Konkursmasse gezogen werden.
- 2 Übersteigt der Anspruch eines Beitragspflichtigen gegenüber einem Fonds die geleistete Zahlung, wird ihm der Überschuss innerhalb eines Jahres nach der Schlussabrechnung zurückerstattet.
- 3 Wird eine Kernanlage aus einer Konkursmasse übernommen, geht der Anspruch gegenüber den Fonds auf den neuen Eigentümer über; dieser hat diejenigen Beiträge zu leisten, welche die konkursierte Gesellschaft den Fonds schuldet.
- 4 Wird die Gesellschaft nach Abschluss eines Konkursverfahrens mit Zustimmung des Departements im Handelsregister gelöscht und wird die Anlage nicht von einer anderen Gesellschaft übernommen, so fallen die eingezahlten Beiträge an die Fonds. Die Fonds verwenden diese Mittel zur Finanzierung der Stilllegungs- und Entsorgungsarbeiten für die betreffende Anlage. Der Bundesrat legt fest, wie ein allfälliger Überschuss verwendet wird.

### Art. 79 Leistungen der Fonds

- 1 Reicht der Anspruch eines Beitragspflichtigen zur Deckung der Kosten nicht aus, deckt dieser die verbleibenden Kosten aus seinen Mitteln.
- 2 Weist der Beitragspflichtige nach, dass seine Mittel nicht ausreichen, deckt der Stilllegungs- oder der Entsorgungsfonds die verbleibenden Kosten mit den gesamten Mitteln. Dies gilt ebenfalls im Falle von Artikel 78 Absatz 4.
- 3 Der Entsorgungsfonds deckt die Kosten, die dem Bund durch die Entsorgungsleistungen nach Artikel 33 Absatz 1 Buchstabe b entstehen, aus den Beiträgen, die der Entsorgungspflichtige in den Fonds einbezahlt hat. Reichen diese Beiträge nicht aus, deckt der Fonds die verbleibenden Kosten mit seinen gesamten Mitteln.

### Art. 80 Nachschusspflicht

- 1 Übersteigen die Zahlungen eines Fonds zu Gunsten eines Berechtigten dessen Anspruch, muss dieser dem Fonds den Differenzbetrag samt einem marktüblichen Zins zurückbezahlen.
- 2 Kann der Berechtigte die Rückerstattung innert einer vom Bundesrat festzulegenden Frist nicht leisten, so müssen die übrigen Beitragspflichtigen und Anspruchsberechtigten des entsprechenden Fonds den Differenzbetrag im Verhältnis ihrer Beiträge durch Nachschüsse decken.
- 3 Die Nachschusspflicht besteht auch:
  - a. im Fall von Artikel 78 Absatz 4, wenn die an den Fonds verfallenen Gelder zur Deckung der Stilllegungs- oder Entsorgungskosten nicht ausreichen;
  - b. im Fall von Artikel 79 Absatz 3, wenn der Entsorgungspflichtige den Differenzbetrag nicht dem Fonds zurückerstattet.
- 4 Ist die Deckung des Differenzbetrages für die Nachschusspflichtigen wirtschaftlich nicht tragbar, beschliesst die Bundesversammlung, ob und in welchem Ausmass sich der Bund an den nicht gedeckten Kosten beteiligt.

### Art. 81 Rechtsform und Organisation der Fonds

- 1 Die Fonds haben eigene Rechtspersönlichkeit. Sie stehen unter Aufsicht des Bundes.
- 2 Der Bundesrat ernennt für jeden Fonds eine Verwaltungskommission als leitendes Organ. Die Kommissionen legen im Einzelfall die Beiträge an die Fonds und deren Leistungen fest.
- 3 Wenn nötig, können die Fonds unter sich oder der Bund den Fonds Vorschüsse gewähren; diese sind zu marktüblichen Bedingungen zu verzinsen.
- 4 Die Fonds sind von allen direkten Steuern von Bund, Kantonen und Gemeinden befreit.
- 5 Der Bundesrat regelt die Einzelheiten; er setzt die Bemessungsgrundlagen für die Erhebung der Beiträge und die Grundzüge der Anlagepolitik fest. Er kann die Fonds zusammenlegen.

Art. 82 Sicherstellung der Finanzierung der übrigen Entsorgungstätigkeiten

1 Für die vor der Ausserbetriebnahme der Kernanlagen anfallenden Entsorgungskosten müssen die Eigentümer Rückstellungen entsprechend Artikel 669 des Obligationenrechts und gestützt auf die Berechnung der Entsorgungskosten des Entsorgungsfonds vornehmen.

2 Die Eigentümer müssen ferner:

- a. den Rückstellungsplan der vom Bundesrat bezeichneten Behörde zur Genehmigung unterbreiten;
- b. den Rückstellungen entsprechende Aktiven bezeichnen, die für die Entsorgungskosten zweckgebunden sind;
- c. der vom Bundesrat bezeichneten Behörde den Prüfbericht der Revisionsstelle über die Einhaltung des Rückstellungsplanes und die zweckgebundene Verwendung von Rückstellungen vorlegen.

3 Die Revisionsstelle nimmt Einsicht in die langfristigen Finanz- und Investitionspläne und prüft, ob für die vor der Ausserbetriebnahme der Kernanlagen entstehenden Entsorgungskosten die finanziellen Mittel zur Verfügung stehen beziehungsweise die Rückstellungen gemäss Rückstellungsplan getätigt wurden.

### 8. Kapitel: Abgaben, Entschädigungen, Fördermassnahmen

Art. 83 Gebühren und Aufsichtsabgaben des Bundes

1 Die zuständigen Behörden des Bundes erheben von den Gesuchstellern und den Inhabern von Kernanlagen, nuklearen Gütern und radioaktiven Abfällen Gebühren und verlangen den Ersatz von Auslagen, insbesondere für:

- a. die Erteilung, die Übertragung, die Änderung, die Anpassung und den Entzug von Bewilligungen;
- b. die Erstellung von Gutachten;
- c. die Ausübung der Aufsicht;
- d. vom Bund im Rahmen der Aufsicht für einzelne Kernanlagen durchgeführte oder veranlasste Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

2 Zur Deckung der Kosten für die Aufsichtstätigkeit, die nicht bestimmten Kernanlagen zurechenbar sind, erheben die zuständigen Behörden des Bundes von den Inhabern der Kernanlagen zudem eine jährliche Aufsichtsabgabe. Die Höhe der Aufsichtsabgabe richtet sich nach dem Durchschnitt der Kosten der letzten fünf Jahre; sie wird auf die einzelnen Kernanlagen im Verhältnis der gegenüber diesen erbrachten gebührenpflichtigen Leistungen verteilt.

3 Der Bundesrat regelt die Einzelheiten.

Art. 84 Gebühren der Kantone

Die Kantone können von den Inhabern von Kernanlagen, nuklearen Gütern und radioaktiven Abfällen Gebühren und den Ersatz von Auslagen verlangen insbesondere für:

- a. Planung und Durchführung von Notfallschutzmassnahmen;
- b. den polizeilichen Schutz der Kernanlagen und des Transportes von Kernmaterialien und radioaktiven Abfällen;
- c. die Ausbildung der Betriebswache;
- d. die Vermessung der Grundstücke im Schutzbereich, ihre Aufnahme ins Grundbuch und die Grundbucheinträge.

Art. 85 Entschädigung für kantonale Hoheitsrechte

1 Werden durch erdwissenschaftliche Untersuchungen nach Artikel 35, durch geologische Tiefenlager oder durch Schutzbereiche kantonale Regalrechte in Anspruch genommen, so hat der Inhaber der Bewilligung den Kanton voll zu entschädigen.

2 Volle Entschädigung nach Absatz 1 ist auch zu bezahlen, wenn durch den Bau eines Kernkraftwerks kantonale Wasserrechte in Anspruch genommen werden.

3 Im Streitfall bestimmt die Schätzungskommission die Entschädigung im Verfahren nach den Artikeln 57–75 und 77–86 EntG.

Art. 86 Förderung der Forschung und der Ausbildung von Fachleuten

1 Der Bund kann die angewandte Forschung über die friedliche Nutzung der Kernenergie, insbesondere über die Sicherheit der Kernanlagen und die nukleare Entsorgung, fördern.

2 Er kann die Ausbildung von Fachleuten unterstützen oder selbst durchführen.

3 Private erhalten in der Regel nur dann Finanzhilfen, wenn sie Eigenleistungen von mindestens 50 Prozent der Kosten erbringen.

## 11. Abkürzungen

BBT	Bundesamt für Berufsbildung und Technologie
BBW	Bundesamt für Bildung und Wissenschaft
BE	Abgebrannte Brennelemente
BFE	Bundesamt für Energie
ENET	Informationsstelle des BFE für Energieforschung
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft
FSC	Forum on Stakeholder Confidence (RWMC, NEA)
HAA	Hochaktive Abfälle
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation (= International Atomic Energy Agency, IAEA)
KNE	Kommission Nukleare Entsorgung
KSA	Eidgenössische Kommission für die Sicherheit der Kernanlagen
LMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NEA	Nuclear Energy Agency (Paris, OECD)
NRC	Nuclear Regulatory Body (USA)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Paris)
RWMC	Radioactive Waste Management Committee (NEA, OECD)
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB (= Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co)
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
WASSC	Waste Safety Standards Committee (gehört zur IAEA-Division of Radiation and waste safety)
YMP	Yucca Mountain Project (USA)