

# **Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz**

**Bilaterale und multilaterale Zusammenarbeit im regulatorischen  
Bereich auf dem Gebiet der Entsorgung und Endlagerung  
radioaktiver Abfälle –  
Vorhaben 3607109175**

**Auftragnehmer:  
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH**

**Entwicklungen im Bereich von Regeln und Richtlinien im  
Hinblick auf Sicherheitsanforderungen bei der  
Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen**

**K. Fischer-Appelt**

**A. Kindt**

**U. Oppermann**

**K.-J. Röhlig**

**K.-H. Walterscheidt**

**T. Beuth**

**Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.**

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMU (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

**BfS-RESFOR-32/10**

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:  
**urn:nbn:de:0221-201005282240**

Salzgitter, Mai 2010

Entwicklungen im Bereich von Regeln und Richtlinien im Hinblick auf Sicherheitsanforderungen bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen

Vorhaben 3607109175  
„Bilaterale und multilaterale Zusammenarbeit im regulatorischen Bereich auf dem Gebiet der Entsorgung und Endlagerung radioaktiver Abfälle“

## Entwicklungen im Bereich von Regeln und Richtlinien im Hinblick auf Sicherheitsanfor- derungen bei der Endlage- rung von hochradioaktiven Abfällen

Fischer-Appelt, K.  
Kindt, A.  
Oppermann, U.  
Röhlig, K.-J.  
Walterscheidt, K.-H.  
Beuth, T.

August 2009

Auftrags-Nr.: 854703

### **Anmerkung:**

Dieser Bericht ist von der GRS im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) im Rahmen des Vorhabens 3607I09175 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

## **Kurzfassung**

Im Rahmen des Vorhabens 3607I09175 sind die in ausgewählten Ländern zu beobachtenden neuen Entwicklungen im Bereich von Regeln und Richtlinien im Hinblick auf Sicherheitsanforderungen bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen zu identifizieren. Die ausgewählten Länder sind Frankreich, Großbritannien, Japan, Kanada und die Schweiz, die in den letzten Jahren Richtlinien für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen entwickelt haben bzw. entwickeln.

Das vornehmliche Arbeitsziel war, die im internationalen Bereich bestehenden Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen für die Phasen der Standortauswahl, der Endlagerauslegung, Errichtung und Betrieb sowie der Führung der Sicherheitsnachweise (Betrieb und Nachbetrieb) zu eruiieren und die Anforderungen, gegliedert nach einzelnen Themenfeldern (z. B. Endlagerauslegung, Sicherheitsmanagement, Betriebssicherheit, Langzeitsicherheit), synoptisch zusammenzustellen. Hierbei war zunächst auf die unterschiedlichen Entsorgungsstrategien und Endlagerkonzepte einzugehen.

## **Abstract**

In the frame of the project 3607I09175 the new developments of rules and guidelines with respect to safety requirements for the disposal of high active waste have to be identified for selected countries. The selected countries are France, Great Britain, Japan, Canada and Switzerland, which in recent years had developed guidelines for the disposal of high active waste or currently develop such guidelines.

The primary objective in this context was to identify the existing safety requirements on the disposal of high active waste in the international area for the phases of site selection, repository design, construction and operation as well as the proof of the safety case (operation and closure). Furthermore, the requirements had to be compiled structured in single topics (e. g. repository design, safety management, operational safety, long term safety). At first, the different disposal strategies and disposal concepts had to be addressed.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Frankreich .....</b>	<b>4</b>
2.1	Rahmenbedingungen .....	4
2.2	Anforderungen.....	10
2.2.1	Schutzziele und Schutzkriterien für Betriebs- und Nachbetriebsphase.....	10
2.2.1.1	Schutzkriterien für die Betriebsphase.....	11
2.2.1.2	Schutzkriterien für die Phase nach Verschluss .....	11
2.2.2	Anforderungen an Bau (oder Auslegung), Betrieb, Verschluss .....	12
2.2.2.1	Auslegungsgrundsätze .....	12
2.2.2.2	Anforderungen an Endlagerbetrieb und –verschluss.....	13
2.2.3	Anforderungen an die Langzeitsicherheit.....	13
2.2.4	Rückholbarkeit.....	16
2.2.5	Optimierung / “Stepwise approach“ .....	17
2.2.6	Sicherheits- und Qualitätsmanagement .....	17
<b>3</b>	<b>Großbritannien.....</b>	<b>19</b>
3.1	Rahmenbedingungen .....	19
3.2	Anforderungen.....	23
3.2.1	Schutzziele und Schutzkriterien für Betriebs- und Nachbetriebsphase.....	23
3.2.1.1	Schutzkriterien für die Betriebsphase.....	25
3.2.1.2	Schutzkriterien für die Phase nach Verschluss .....	25
3.2.2	Anforderungen an Bau (oder Auslegung), Betrieb, Verschluss .....	27
3.2.2.1	Auslegungsgrundsätze .....	27
3.2.2.2	Endlagerbetrieb und -verschluss.....	28
3.2.3	Anforderungen an die Langzeitsicherheit.....	30
3.2.4	Rückholbarkeit.....	34
3.2.5	Optimierung / “Stepwise approach“ .....	34
3.2.6	Sicherheits- und Qualitätsmanagement .....	40

<b>4</b>	<b>Japan</b> .....	<b>42</b>
4.1	Rahmenbedingungen .....	42
4.2	Anforderungen .....	47
4.2.1	Schutzziele und Schutzkriterien für Betriebs- und Nachbetriebsphase.....	47
4.2.1.1	Schutzkriterien für die Betriebsphase.....	48
4.2.1.2	Schutzkriterien für die Phase nach Verschluss .....	48
4.2.2	Anforderungen an Bau (oder Auslegung), Betrieb, Verschluss .....	49
4.2.2.1	Auslegungsgrundsätze .....	49
4.2.2.2	Anforderungen an Endlagerbetrieb und -verschluss .....	49
4.2.3	Anforderungen an die Langzeitsicherheit.....	49
4.2.4	Rückholbarkeit.....	50
4.2.5	Optimierung / “Stepwise approach“ .....	50
4.2.6	Sicherheits- und Qualitätsmanagement .....	51
<b>5</b>	<b>Kanada</b> .....	<b>52</b>
5.1	Rahmenbedingungen .....	52
5.2	Anforderungen.....	57
5.2.1	Schutzziele und Schutzkriterien für Betriebs- und Nachbetriebsphase.....	57
5.2.1.1	Schutzkriterien für die Betriebsphase.....	59
5.2.1.2	Schutzkriterien für die Nachbetriebsphase.....	59
5.2.2	Anforderungen an Bau (oder Auslegung), Betrieb, Verschluss .....	62
5.2.2.1	Auslegungsgrundsätze .....	62
5.2.2.2	Endlagerbetrieb und -verschluss.....	63
5.2.3	Anforderungen an die Langzeitsicherheit.....	63
5.2.4	Rückholbarkeit.....	66
5.2.5	Optimierung / “Stepwise approach“ .....	66
5.2.6	Sicherheits- und Qualitätsmanagement .....	67
<b>6</b>	<b>Schweiz</b> .....	<b>68</b>
6.1	Rahmenbedingungen .....	68
6.2	Anforderungen.....	72
6.2.1	Schutzziele und Schutzkriterien für Betriebs- und Nachbetriebsphase.....	72
6.2.1.1	Schutzkriterien für die Betriebsphase.....	75

6.2.1.2	Schutzkriterien für die Phase nach Verschluss .....	75
6.2.2	Anforderungen an Bau (oder Auslegung), Betrieb, Verschluss .....	76
6.2.2.1	Auslegungsgrundsätze .....	76
6.2.2.2	Anforderungen an Endlagerbetrieb und -verschluss .....	79
6.2.3	Anforderungen an die Langzeitsicherheit.....	82
6.2.4	Rückholbarkeit.....	85
6.2.5	Optimierung / "Stepwise approach" .....	86
6.2.6	Sicherheits- und Qualitätsmanagement .....	87
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>88</b>
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>103</b>



## **1 Einleitung**

Im Rahmen des Vorhabens 3607I09175 „Bilaterale und multilaterale Zusammenarbeit im regulatorischen Bereich auf dem Gebiet der Entsorgung und Endlagerung radioaktiver Abfälle“ sind die in ausgewählten Ländern zu beobachtenden neuen Entwicklungen im Bereich von Regeln und Richtlinien und insbesondere im Hinblick auf Sicherheitsanforderungen bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen zu identifizieren und zusammenfassend, d. h. ohne vertiefende Details, darzustellen (Identifizierungsphase).

Die ausgewählten Länder sind Frankreich, Großbritannien, Japan, Kanada und die Schweiz, die in den letzten Jahren Richtlinien für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen entwickelt haben bzw. entwickeln. Hierbei hängen Art und Stringenz der Anforderungen von landesspezifischen (Geologie, natürliche Phänomene) und entsorgungsspezifischen Merkmalen (Abfallklassifikation, Entsorgungsstrategie) ab. Eine Übertragbarkeit auf das deutsche Konzept der Endlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle ist aus diesem Grunde nicht vollumfänglich gegeben.

Das vornehmliche Arbeitsziel war, die im internationalen Bereich bestehenden Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen für die Phasen der Standortauswahl, der Endlagerauslegung, Errichtung und Betrieb sowie der Führung der Sicherheitsnachweise (Betrieb und Nachbetrieb) zu eruieren und die Anforderungen, gegliedert nach einzelnen Themenfeldern (z. B. Endlagerauslegung, Sicherheitsmanagement, Betriebssicherheit, Langzeitsicherheit), synoptisch zusammenzustellen. Hierbei war zunächst auf die unterschiedlichen Entsorgungsstrategien und Endlagerkonzepte einzugehen. Unter Berücksichtigung der jeweiligen unterschiedlichen Endlagerkonzepte sollen die Anforderungen identifiziert werden, die auch in Deutschland für die Endlagerung Wärme produzierender Abfälle von Relevanz sein können.

Die Zusammenstellung des Sachstandes erfolgt durch Sichtung entsprechender nationaler Regeln und Richtlinien, die in den vergangenen zwei oder drei Jahren herausgegeben wurden. Möglicherweise in der Diskussion befindliche Zwischenstände, z. B. Japan, oder in der Revision befindliche nationale Regeln und Richtlinien sind hierbei einbezogen worden. Im Folgenden sind die primären Referenzen aufgeführt, die Gegenstand der ersten Phase der Zusammenstellung und Auswertung internationaler Richtlinien für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle sind.

Hinsichtlich der Sichtung und der Auswertung zu den Sicherheitsanforderungen zur Endlagerung von hochaktiven Abfällen in Japan ist anzumerken, dass die verfügbaren Referenzen zum größten Teil in japanischer Schrift vorliegen. Für die Auswertung stand nur der Appendix zu einem Interimsreport der Nuclear Safety Commission (NSC) bezüglich "Low-Level Radioactive Waste" und eine inoffizielle Übersetzung eines Dokuments der NSC zu allgemeinen Sicherheitsfragen bei der Endlagerung in englischer Sprache zur Verfügung. Im Folgevorhaben ist die Fortführung der hier erstellten Grundlage geplant. Mit der Fortführung und entsprechender Identifizierung zusätzlicher Unterlagen wird ggf. eine Übersetzung relevanter japanischer Regelwerke in die deutsche oder englische Sprache veranlasst.

Allgemein ist noch auf den Umstand hinzuweisen, dass die einbezogenen primären Referenzen möglicherweise nicht alle zur Beurteilung aufgestellten Aspekte beinhalten bzw. in dem erforderlichen Tiefgang abdecken. Möglicherweise gibt es weitere Regularien, die Anforderungen zu einem bestimmten Aspekt ausführen bzw. noch weiter ins Detail gehen. Im Folgenden sind die primären Referenzen aufgeführt, die Gegenstand der Identifizierungsphase sind:

- Frankreich:  
Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (Février 2008)
- Großbritannien:  
Deep Geological Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes: Guidance on Requirements for Authorisation (February 2009)
- Kanada:  
Regulatory Guide G-320: Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management (December 2006)
- Japan:  
Basic Policy for Safety Regulations Concerning Land Disposal of Low-Level Radioactive Waste, Interim Report, July 2007  
  
Commonly Important Issues for the Safety Regulations of Radioactive Waste Disposal, Unofficial Translation v2 (050727), June 10, 2004
- Schweiz:  
Kernenergieverordnung KEV (Januar 2009, Änderung)  
Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03/d: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis (April 2009)

Der vorliegende Bericht ist so strukturiert, dass nach der Einleitung (Kapitel 1) die Sachstände in den ausgewählten Ländern wiedergegeben sind (Kapitel 2 bis 6). Die Darstellung der Sachstände zu den einzelnen Ländern folgt einer einheitlichen, von der Gliederung der jeweiligen Regeln und Richtlinien ggf. notwendigerweise abweichenden Struktur, die sich auf zwei Hauptthemenfelder bezieht. Das erste Hauptthemenfeld be-

inhaltet sog. Rahmenbedingungen, die dem Leser einen Überblick über die aktuelle Situation zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle des jeweiligen Landes, z. B. hinsichtlich des gesetzlichen Rahmens, der regulatorischen Struktur, des Genehmigungsweges und des Standes der Endlagerung, gibt. Im zweiten Hauptthemenfeld werden die identifizierten Anforderungen nach weiteren Themenschwerpunkten wie z. B. Schutzzielen, Anforderungen an Bau, Betrieb und Verschluss sowie Langzeitsicherheit, die in Unterkapitel eingeteilt sind, aufgeführt.

Die abschließende Zusammenfassung (Kapitel 7) konzentriert sich auf wesentliche Aspekte der Länderdarstellungen derart, dass mögliche Gemeinsamkeiten / Unterschiede in den Sicherheitsanforderungen sowie länderspezifische Besonderheiten herausgestellt werden.

## 2 Frankreich

Für Frankreich wurde folgende Leitlinie ausgewertet /ASN 08/:

### **Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde, Février 2008**

**(Sicherheitsleitlinie zur Lagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen, Februar 2008)**

[http://www.asn.fr/sites/default/files/files/guide\\_RFSIII\\_2\\_fv1\\_2\\_.pdf](http://www.asn.fr/sites/default/files/files/guide_RFSIII_2_fv1_2_.pdf)

### 2.1 Rahmenbedingungen

#### **Gesetzlicher Rahmen und regulatorische Struktur, Genehmigungsweg**

Grundlage des französischen Programms zur Entsorgung radioaktiver Abfälle ist das „Loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs“ (Gesetz n°2006-739 vom 18. Juni 2006 zum nachhaltigen Umgang mit radioaktiven Materialien und Abfällen) /LOI 06a/. Das Gesetz entstand entsprechend der 1991 mit dem damaligen „Loi Bataille“ /LOI 91/ festgelegten Frist von 15 Jahren für die Erforschung von Entsorgungsmöglichkeiten und für die einschlägige Gesetzgebung. Es beinhaltet Festlegungen zur Änderung bzw. Ergänzung einschlägiger Artikel des französischen Umweltgesetzbuches („code de l'environnement“, <http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20090529>).

Das Gesetz von 2006 fordert die Entwicklung eines nationalen Plans zum Umgang mit radioaktiven Materialien und Abfällen („Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs PNGMDR“) und seine periodische Anpassung (alle drei Jahre, jeweils Begutachtung durch das Parlamentsbüro zur Bewertung wissenschaftlicher und technologischer Optionen – „Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques OPECST“ – und anschließende Veröffentlichung), der sich an den Erfordernissen

- Reduktion von Mengen und Toxizität,

- Zwischenlagerung und
- Endlagerung

orientieren soll. Dieser Plan liegt seit Mai 2007 für die Jahre 2007 bis 2009 vor /PNG 07/ und bildet neben dem Gesetz von 2006 die wichtigste Grundlage des französischen Endlagerprogramms.

Nachfolgend soll ausschließlich auf die Festlegungen zum Umgang mit hochradioaktiven und langlebigen mittelaktiven Abfällen eingegangen werden (rechte untere Felder in Tab. 2.1-1 und 2.1-2 zur Kategorisierung radioaktiver Abfälle in Frankreich).

**Tab. 2.1-1** Kategorisierung radioaktiver Abfälle in Frankreich (aus /PNG 07/)

Activité	Période	Très courte durée de vie < 100 jours	Courte durée de vie < 30 ans	Longue durée de vie > 30 ans
Très faible activité	Gestion par Décroissance Radioactive	Stockage dédié en surface Filières de recyclage		
Faible activité		Stockage de surface (Centre de stockage de l'Aube) sauf déchets tritiés, sources scellées (à l'étude)	Stockages dédiés de faible profondeur à l'étude	
Moyenne activité			Filières à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006	
Haute activité		Filières à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006		

**Tab. 2.1-2** Kategorisierung radioaktiver Abfälle in Frankreich (Übersetzung von Tab. 2.1-1)

Halbwertszeit Aktivität	Sehr kurze Lebensdauer < 100 Tage	Kurze Lebensdauer < 30 Jahre	Lange Lebensdauer > 30 Jahre
Sehr geringe Aktivität	Entsorgung durch radioaktiven Zerfall	Oberflächenendlagerung Rezyklierung	
Geringe Aktivität		Oberflächenendlagerung (Centre de Stockage de l'Aube) außer tritiumhaltigen Abfällen und Quellen (laufende Untersuchungen)	Endlagerung in geringer Tiefe in Untersuchung
Mittlere Aktivität			In Untersuchung nach Artikel 3 des Gesetzes vom 28. Juni 2006
Hohe Aktivität		In Untersuchung nach Artikel 3 des Gesetzes vom 28. Juni 2006	

Nach dem Gesetz von 2006 sollen hierzu folgende Forschungen erfolgen:

1. In Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Reaktortypen soll die Abbrennung und Transmutation langlebiger Nuklide betrachtet werden. 2012 soll eine Studie zu den diesbezüglichen Perspektiven vorliegen; 2020 soll eine Pilotanlage in Betrieb gehen.
2. Es sollen eine Standortauswahl und Untersuchungen zur Endlagerauslegung für die reversible Endlagerung in einer tiefen geologischen Formation mit dem Ziel einer Antragstellung im Jahr 2015 und eines Betriebsbeginns im Jahr 2025 erfolgen.
3. Es sollen Studien zur Modifizierung existierender Zwischenlager oder der Errichtung neuer Einrichtungen bis zum Jahr 2015 vorgenommen werden, um damit den Anforderungen des nationalen Plans zum Umgang mit radioaktiven Materialien und Abfällen hinsichtlich Zeitplanung und Kapazität gerecht zu werden.

Das Gesetz von 2006 verbietet die Endlagerung aus dem Ausland stammender radioaktiver Abfälle (einschließlich von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen ausländischen Ursprungs). Im Gesetz werden Festlegungen

- zur Einsetzung und zu den Aufgaben der „Nationalen Evaluierungskommission“ (Commission nationale d'évaluation; CNE),
- zu Fragen der Transparenz, Information und zur Einbindung betroffener Distrikte über die Bildung sogenannter öffentlicher Interessenvertretungen („groupement d'intérêt public“) und lokaler Informationskomitees („comité local d'information“; CLI),
- zu Fragen der Besteuerung,
- zu den Aufgaben der nationalen Organisation zum Umgang mit radioaktiven Abfällen („Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs“; ANDRA),
- zu Kostenfragen, sowie
- zu Abschätzungen und Berichterstattung zum Abfallaufkommen (auch aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen)

getroffen.

Hinsichtlich von Endlagern in tiefen geologischen Formationen wird festgelegt,

- dass diese als nukleare Einrichtung („installation nucléaire de base“) gelten,
- dass ihre Errichtung nur in Formationen beantragt werden kann, die zuvor durch ein Untertagelabor erkundet worden sind,
- dass einer Beantragung eine öffentliche Debatte auf der Grundlage einer von der ANDRA erstellten Studie voranzugehen hat,
- dass zu einer Beantragung die Meinungen der CNE, der Behörde für nukleare Sicherheit („Autorité de sûreté nucléaire ASN“) und der betroffenen Kommunen einzuholen sind,
- dass der Antrag zusammen mit einem Bericht zur o. g. öffentlichen Debatte sowie mit den Review-Berichten der CNE und der ASN beim Parlamentsbüro OPECST einzureichen ist, das ihn dann zusammen mit einer Bewertung den zuständigen Ausschüssen der Nationalversammlung und des Senats zuleitet,
- die Regierung anschließend ein Gesetz zu verfassen hat, in dem die Bedingungen zur Reversibilität beschrieben werden, nach dessen Verabschiedung und nach einer öffentlichen Debatte die Genehmigung durch den Staatsrat ausgesprochen werden kann,
- dass diese Genehmigung nur ausgesprochen werden kann, wenn die Reversibilität dem o. g. Gesetz entsprechend gewährleistet ist.

Weiterhin wird festgelegt, dass die Sicherheit während der weiteren Schritte der Endlagerentwicklung fortlaufend zu bewerten ist und dass der Verschluss der Anlage durch ein weiteres Gesetz zu autorisieren ist. Die Genehmigung soll den minimalen Zeitraum der Reversibilität festlegen, der nicht weniger als 100 Jahre betragen darf.

Neben den im Gesetz von 2006 /LOI 06a/ getroffenen Festlegungen zur Beteiligung der Öffentlichkeit und zu den Interessenvertretungen wurden 2006 im „Loi n°2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire“ /LOI 06b/ ausführliche Festlegungen zur Gewährleistung und Organisation der Öffentlichkeitsbeteiligung getroffen.

## **Stand der Endlagerung hochradioaktiver und langlebiger mittelaktiver Abfälle, Standortauswahlprozess**

Zum Status der Endlagerung hochradioaktiver und langlebiger mittelaktiver Abfälle ist anzumerken, dass das Gesetz /LOI 06a/ faktisch eine Vorfestlegung hinsichtlich des Standortes bewirkt: Durch die Forderung nach der Erkundung durch ein Untertagelabor einerseits und den straffen Zeitplan andererseits kommt für den Endlagerstandort nur die geologische Formation in Frage, für die die Ergebnisse aus dem einzigen Untertagelabor der ANDRA<sup>1</sup> als übertragbar gelten. Dieses Labor liegt an der Grenze zwischen den Departements Meuse (Region Lothringen) und Haute-Marne (Region Champagne-Ardennen) in der Nähe der Ortschaft Bure. Als potenzielles Wirtsgestein werden die Tonsteine des Callovo-Oxford untersucht. Die Forschungsergebnisse aus dem Untertagelabor gelten für eine so genannte Transpositionszone von ca. 250 km<sup>2</sup> als übertragbar. Innerhalb dieser Zone soll 2009 eine Zone von ca. 30 km<sup>2</sup> für die untertägigen Komponenten des Endlagers und zur weiteren Erforschung ausgewählt werden. Da eine Reihe überirdischer Einrichtungen mit dem Endlager über eine Rampe verbunden werden sollen, können diese ggf. auch etwas außerhalb der Transpositionszone angesiedelt werden. Eine entsprechende Auswahl soll 2012 erfolgen /PNG 07, AND 09/. Die weiteren Entwicklungs- und Genehmigungsschritte werden in /LOI 06a/ beschrieben (s. oben).

### **Übergeordnete Festlegungen zur Rückholbarkeit**

Das Gesetz von 1991 /LOI 91/ sah zunächst die Erforschung der reversiblen oder irreversiblen Endlagerung vor. Im Laufe der Entwicklung des Endlagerkonzepts erfolgte jedoch die Festlegung des Industrieministeriums auf eine reversible Endlagerung, ohne dass diese Forderung zunächst weiter spezifiziert worden war /HOO 03, 06/. Die im „Dossier 2001“ /AND 01a, b/ und „Dossier 2005“ /AND 05/ dargelegten Forschungsarbeiten der ANDRA orientierten sich demnach an dem Ziel, durch entsprechende Behälter- und Ausbaukonzepte die Einlagerung über gewisse Zeiträume (100 bis 300 Jahre) reversibel zu gestalten. Wie oben erwähnt, sieht das Gesetz von 2006 /LOI 06a/ nunmehr eine reversible Endlagerung vor, verschiebt eine Konkretisierung jedoch auf eine spätere Gesetzgebung, die entsprechend des Zeitplanes im Jahr 2016 erfolgen muss-

---

<sup>1</sup> Ein weiteres Untertagelabor wird vom Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (Institut für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit) (IRSN) am Standort Tournemire zu Forschungszwecken, nicht jedoch zur Erforschung eines potenziellen Wirtsgesteins betrieben.

te. Lediglich eine Mindestfrist von 100 Jahren für die Reversibilität wurde bereits festgeschrieben, ohne dass jedoch angegeben wurde, wann dieser Zeitraum beginnen soll (mit der Einlagerung des jeweils betroffenen Abfalls, mit dem Verschluss eines Einlagerungsfeldes, mit dem Verschluss des Endlagers?).

### **Rechtliche Stellung der Sicherheitsleitlinie zur Lagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen**

Nachfolgend sollen wesentliche Inhalte der Sicherheitsleitlinie zur Lagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen („Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde“, /ASN 08/) dargestellt werden. Die Leitlinie wurde von der Behörde ASN erarbeitet und herausgegeben und ersetzt die „Règle Fondamentale de Sûreté (RFS) III.2.f von 1991“ /DSIN 91/. Im Unterschied zum lediglich empfehlenden Charakter der letztgenannten Regel hat die neue Leitlinie bindende Wirkung /DAN 09/ – insofern entspricht die Bezeichnung „guide“ nicht dem in Deutschland herrschenden Verständnis. Zur Leitlinie gehören zwei Anlagen. In der Anlage 1 werden Anforderungen zu Eigenschaften sowie der Erfassung und Annahme der Abfallbinde und detaillierte Vorstellungen zur Standortuntersuchung dargelegt. Nach /DAN 09/ ist diese Anlage bindender Bestandteil der Sicherheitsanforderungen, in der Anlage selbst kommt allerdings auch das Wort „Empfehlungen“ („recommendation“) vor. In Anlage 2 erfolgen detaillierte Angaben und Beschreibungen zu den beim Langzeitsicherheitsnachweis zu betrachtenden Situationen (Szenarien), die jedoch nach /DAN 09/ nicht bindend sind. Auch aus dem Text der Leitlinie /ASN 08/ geht explizit hervor, dass es sich hier lediglich um Empfehlungen handelt.

Die Leitlinie /ASN 08/ bezieht sich auf die Endlagerung hochradioaktiver und langlebiger mittelaktiver Abfälle (rechte untere Felder in Tab. 2.1-1 und 2.1-2) und auf ggf. einzulagernde bestrahlte Brennelemente.

## **2.2 Anforderungen**

### **2.2.1 Schutzziele und Schutzkriterien für Betriebs- und Nachbetriebsphase**

#### **Schutzziele**

In der Leitlinie /ASN 08/ werden der Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt als grundlegende Sicherheitsziele der Endlagerung – insbesondere im Hinblick auf eine eventuelle Ausbreitung radioaktiver oder toxischer Stoffe – angegeben. Diese sollen nach Endlagerverschluss passiv, also ohne dass ein Eingreifen des Menschen erforderlich wird, gewährleistet werden. Eventuelle radiologische Belastungen sind so niedrig zu halten, wie dies unter Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik sowie wirtschaftlicher und sozialer Faktoren vernünftigerweise erreicht werden kann. Der Schutz vor chemotoxischen Stoffen soll entsprechend der einschlägigen Kriterien und Empfehlungen erfolgen, die Leitlinie selbst gibt nur radiologische Kriterien an.

Es erfolgen keine weiteren Ausführungen zu Fragen des Geringfügigkeitsprinzips, der Art des Nachweises hinsichtlich des Schutzes der Umwelt und des transnationalen Schutzes. Ein Prinzip des äquivalenten Schutzes künftiger Generationen wird nicht explizit formuliert, liegt jedoch offensichtlich den in Kapitel 2.2.1.2 dargestellten Kriterien zugrunde. Erläuterungen zur Anwendung des Prinzips "defense in depth" finden sich in Kapitel 2.2.3.

Die Langzeitsicherheit genießt keinen Vorrang vor der betrieblichen Sicherheit. Eventuelle radiologische Belastungen sind so niedrig zu halten, wie dies unter Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik sowie wirtschaftlicher und sozialer Faktoren vernünftigerweise erreicht werden kann. Es wird gefordert, dass Maßnahmen zur Gewährleistung der Reversibilität die Sicherheit beim Betrieb und nach Verschluss des Endlagers nicht beeinträchtigen.

Explizite Ausführungen zur Vermeidung von unzumutbaren Lasten und Verpflichtungen künftiger Generationen gibt es nicht. Im Hinblick auf die Standortauswahl wird das Fehlen von Ressourcen, die von außergewöhnlichem Interesse sein können, gefordert.

In Kapitel 2.2.5 werden die Ausführungen zum stufenweisen Endlagerentwicklungsprozess wiedergegeben. Optimierungsziel ist die Gewährleistung möglichst niedriger radiologischer Belastungen (s. oben).

### **2.2.1.1 Schutzkriterien für die Betriebsphase**

Für die Betriebsphase werden keine Kriterien formuliert; stattdessen wird auf die Strahlenschutzkriterien für ortsfeste kerntechnische Anlagen, das Arbeitsgesetz und das Gesetz zum Schutz der öffentlichen Gesundheit verwiesen.

### **2.2.1.2 Schutzkriterien für die Phase nach Verschluss**

Die Leitlinie /ASN 08/ legt fest, dass in der Sicherheitsanalyse folgende Szenarien („situations“) zu untersuchen sind:

- eine Referenzsituation (voraussichtliche Entwicklung unter dem Einfluss sicherer oder sehr wahrscheinlicher Ereignisse in Zusammenhang mit der Existenz der Anlage, Fehlern bei ihrer Errichtung, der Zersetzung technischer Komponenten und wahrscheinlicher natürlicher Ereignisse wie Klimaänderungen, Hebungen, Senkungen und seismische Bewegungen)
- abweichende Situationen, die mit ungewissen, aber plausiblen Ereignissen natürlichen oder menschlichen Ursprungs korrespondieren und zu einer Beschleunigung der Radionuklidmigration führen können

Die durch die Modellierung des Endlagersystems berechnete radiologische Exposition darf für die Referenzsituation für die ersten 10.000 Jahre nach Endlagerverschluss bei länger andauernden Expositionen 0,25 mSv/a nicht überschreiten. Dies ist auch im Rahmen „expliziter Unsicherheitsanalysen“ („études d'incertitudes explicites“) zu demonstrieren; eine rechnerische Überschreitung hat zu einer Verringerung der Unsicherheiten durch Forschung und Entwicklung oder zu einer Überarbeitung der Auslegung des Endlagers zu führen. Jenseits der ersten 10.000 Jahre nach Endlagerverschluss ist mit konservativen quantitativen Analysen, ggf. ergänzt durch qualitative Betrachtungen, zu zeigen, dass es nicht zu inakzeptablen Freisetzungen kommt. Der Wert von 0,25 mSv/a gilt hierbei als Referenzwert.

Für die Bewertung der Konsequenzen aus abweichenden Szenarien kann auch das Konzept des Risikos (Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit der Situation und der mit der Exposition verbundenen Wirkung) herangezogen werden. In der Leitlinie /ASN 08/ wird allerdings kein diesbezügliches Kriterium formuliert, sondern stattdessen auf die mit dem Risikobegriff verbundenen konzeptionellen Probleme (Annahme der Gleichwertigkeit der Verringerung von Wahrscheinlichkeit und Exposition, Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeit) verwiesen und eine Bewertung unter Berücksichtigung von Situation, Wahrscheinlichkeit, Expositionshöhe und -dauer, Ausmaß der Verteilung von Radionukliden in der Biosphäre und Art der Expositionswege für ggf. betroffene Gruppen gefordert. Eine ggf. erfolgende Intervention ist jedoch nicht in die Betrachtung einzubeziehen. Darüber hinaus sind Expositionen im Vergleich zu Freisetzungen, die zu deterministischen Schäden führen, hinreichend niedrig zu halten.

Für die Referenzsituation und die abweichenden Situationen soll die berechnete Exposition auch angesichts der Anstrengungen des Betreibers, diese – unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren – so niedrig wie vernünftigerweise möglich zu halten, bewertet werden.

## **2.2.2 Anforderungen an Bau (oder Auslegung), Betrieb, Verschluss**

### **2.2.2.1 Auslegungsgrundsätze**

Die Leitlinie /ASN 08/ schließt ausdrücklich keine geologische Formation für die Endlagerung aus, sofern sie die in Kapitel 2.2.3 genannten Kriterien erfüllt.

Die Anforderungen an die Endlagerauslegung werden vorrangig im Hinblick auf die Langzeitsicherheit formuliert (vgl. Kapitel 2.2.3). Spezifische Anforderungen an die Oberflächenanlagen gibt es nicht.

Die Leitlinie /ASN 08/ fordert die Einhaltung des Gesetzes zur Überwachung nuklearer Materialien. Diesbezügliche Maßnahmen dürfen die Sicherheit beim Betrieb und nach Verschluss des Endlagers nicht beeinträchtigen.

### **2.2.2.2 Anforderungen an Endlagerbetrieb und –verschluss**

Die Leitlinie /ASN 08/ enthält keine über die bereits in den Unterkapiteln von Kapitel 2.2 dieses Berichtes dargelegten Festlegungen hinausgehenden Anforderungen.

### **2.2.3 Anforderungen an die Langzeitsicherheit**

#### **Passive Sicherheit**

Die o. g. Schutzkriterien sollen nach Endlagerverschluss passiv, also ohne dass ein Eingreifen des Menschen erforderlich wird, gewährleistet werden.

#### **Mehrbarrierensystem und multiple Sicherheitsfunktionen, Redundanz / Diversität**

Die Leitlinie /ASN 08/ fordert die Anwendung des Prinzips "defense in depth", das mit einem Mehrbarrierenkonzept gleichgesetzt wird. Es wird die Errichtung aufeinander folgender Barrieren in einer Weise gefordert, dass verschiedene Komponenten verschiedene Sicherheitsfunktionen erfüllen. Dies soll aufgrund der Komplementarität und Diversität zu einem gewissen Maß an Redundanz führen, so dass plausible Ausfälle einzelner Komponenten die Sicherheit der Anlage nicht beeinträchtigen. Das Endlager ist so zu konzipieren, dass eine einfache Nachweisführung möglich ist.

Als Sicherheitsfunktionen werden die Behinderung der Wasserzirkulation, die Rückhaltung der Radioaktivität und die Isolation der Abfälle von Mensch und Biosphäre genannt.

Anforderungen an einzelne Komponenten sollen in Zusammenhang mit dem Gefahrenpotenzial der Abfälle, vor denen sie schützen sollen, festgelegt werden.

Solange die eingelagerten Abfälle nicht akzeptable Expositionen bewirken können, hat die Sicherheitsfunktion des Wirtsgesteins bewahrt zu werden. Das Deckgebirge kann komplementär zum Wirtsgestein Funktionen (Verteilung, Verdünnung, Rückhaltung) übernehmen.

Die Wahrnehmung der Funktionen ist unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und Machbarkeitsfragen zu zeigen. Quantitative Zielstellungen hinsichtlich der Funktionen

werden sich erst im Laufe eines iterativen Vorgehens der Endlagerentwicklung ergeben.

Die Abfallgebinde sollen für einen gewissen Zeitraum die Ausbreitung von Radionukliden verhindern. Für hochradioaktive Abfälle und bestrahlten Kernbrennstoff soll dies so lange gewährleistet sein, bis die Außentemperatur der Gebinde so niedrig ist, dass mögliche Veränderungen in der Umgebung unter bekannten Bedingungen ablaufen. Für mittelaktive Abfälle muss der Einschluss der nicht gasförmigen Komponenten während der Betriebsphase gewährleistet sein. Dies gilt auch für abweichende Situationen, insbesondere für solche, die zu einem Kurzschluss des geologischen Milieus führen. In Anlage 1 der Leitlinie werden u. a. detaillierte Vorstellungen zu Eigenschaften sowie zur Erfassung und Annahme der Abfallgebinde entwickelt.

An die Standortgeologie werden folgende Anforderungen gestellt:

- Stabilität gegen Vergletscherung, Seismizität und neotektonische Bewegungen für einen Zeitraum, der ein substanzielles Abklingen der Radioaktivität ermöglicht, mindestens jedoch für 10.000 Jahre
- niedrige hydraulische Durchlässigkeit und niedriger hydraulischer Gradient
- Mindesttiefe des Wirtsgesteins zum Schutz vor Oberflächenphänomenen (einschließlich „banalen“ menschlichen Eindringens) (Dabei wird a priori davon ausgegangen, dass eine Schicht von 200 m Mächtigkeit in jedem Fall solchen Phänomenen ausgesetzt ist.)
- Fehlen von Ressourcen, die von außergewöhnlichem Interesse sein können
- Vereinbarkeit der mechanischen und thermischen Eigenschaften mit Anforderungen der Machbarkeit, der Sicherheit in der Betriebsphase und nach Endlagerverschluss und der Reversibilität
- vorteilhafte Geochemie

Diese Anforderungen werden in /ASN 08/ ausdrücklich als Kriterien für die Standortauswahl bezeichnet. In Anlage 1 der Leitlinie werden u. a. detaillierte Vorstellungen zur Standortuntersuchung entwickelt.

Die baulichen Komponenten sind so zu gestalten, dass die nach Verschluss verbleibenden Hohlräume minimiert werden. Sie sollen insbesondere zu den Sicherheitsfunk-

tionen der Behinderung der Wasserzirkulation und der Rückhaltung der Radioaktivität beitragen und mit dem Wirtsgestein und den Abfallgebinden hinsichtlich der Wahrnehmung der Funktionen kompatibel sein. Bei der Auslegung sind Fragen der Ableitung von Wärme und Gasen, der Mechanik, der Chemie und des wasserdichten Abschlusses zu berücksichtigen.

In der Leitlinie /ASN 08/ werden eine Reihe von Aspekten genannt, die bei der Endlagerauslegung insbesondere hinsichtlich der Kompatibilität mit der Geologie zu berücksichtigen sind (Abstand von Klüften und Formationen mit Grundwasserzirkulation, wasserdichte Versiegelung, Temperatur, mechanische Auswirkungen der Anlage, Einflüsse von Luft, anderen Gasen und Mikroorganismen, Einschränkung der betroffenen Flächen und Volumina, Errichtung von Verbindungen nach unter Tage und Einlagerungshohlräume im Hinblick auf die Begrenzung der Radionuklidmigration, Chemie). Eine konkrete Anforderung wird jedoch lediglich im Hinblick auf die Außentemperatur der Gebinde (Begrenzung auf 100 °C) genannt.

Bei der Bewertung der Langzeitsicherheit soll iterativ vorgegangen werden (s. Kapitel 2.2.5). Es sollen Szenarien modelliert werden, die im Hinblick auf die möglichen Entwicklungen und ihre Konsequenzen repräsentativ sind. Die Modellierung der Szenarien soll sich nicht nur an potenziellen Konsequenzen, sondern auch an der Funktion und Interaktion der einzelnen Konsequenzen orientieren. Dabei können neben der Dosis weitere Indikatoren (Konzentrationen, Aktivitätsströme) zum Einsatz kommen. Sensitivitätsanalysen sollen zur Verbesserung des Systems beitragen. In der Leitlinie /ASN 08/ werden Anforderungen hinsichtlich der Dokumentation der

- Erhebung und Verwendung von Daten,
- Basisdaten für die radiologischen Modelle,
- Biosphärenmodellierung,
- für die Bewertung ausgewählten Situationen und
- verwendeten Rechenmodelle

gestellt. Es erfolgen relativ detaillierte Vorgaben zu den berücksichtigenden Situationen, zur Vorgehensweise bei ihrer Festlegung und zu den zu berücksichtigenden Phänomenen und Zeiträumen, zu den zu verwendenden Modellen und ihrer Qualität, zur Biosphärenmodellierung sowie zur Betrachtung von Unsicherheiten.

Im Hinblick auf die Biosphärenmodellierung werden die zu berücksichtigenden Expositionspfade vorgegeben. Die Unsicherheiten hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Biosphäre werden genannt und auf die Möglichkeit der Berechnung der radiologischen Konsequenzen für zumindest teilweise autark lebende hypothetische Referenzgruppen mit der potenziell höchsten Exposition auf der Basis von Standard-Biosphären verwiesen. Regionale klimatische Entwicklungen sind bei der Modellierung zu berücksichtigen.

### **Behandlung menschlichen Eindringens**

U. a. wird im Hinblick auf menschliches Eindringen oder andere künftige menschliche Aktivitäten die Untersuchung von Bohrungen, Bergwerken, Kavernen sowie von Oberflächen- und oberflächennahen Konstruktionen gefordert. Fabrikations- und Auslegungsfehler, Defekte sowie unentdeckte Störungen sind ebenfalls in dieser Kategorie zu berücksichtigen.<sup>2</sup> In einer Anlage erfolgen detaillierte Angaben und Beschreibungen zu den zu betrachtenden Situationen, die jedoch nicht bindend sind. Im Hinblick auf unbeabsichtigte menschliche Eingriffe wird in diesem Anhang von einer Frist von 500 Jahren der Bewahrung des Wissens über das Endlager ausgegangen, für die solche Eingriffe nicht betrachtet werden müssen. Weiterhin wird ein technologischer Stand wie in der Gegenwart vorausgesetzt.

#### **2.2.4 Rückholbarkeit**

In den französischen Gesetzen und Regelwerken wird ausschließlich der Begriff der Reversibilität („réversibilité“), nicht aber der der Rückholbarkeit („récupérabilité“) gebraucht. Die Leitlinie /ASN 08/ bezieht sich auf die Festlegungen des Gesetzes von 2006 /LOI 06a/ (vgl. Kapitel 2.1) und konstatiert, dass zu deren Umsetzung angepasste Methoden beim Endlagerbetrieb sowie Überwachungsmöglichkeiten erforderlich sein werden.

---

<sup>2</sup> Anmerkung: Die Zuordnung von Fabrikations- und Auslegungsfehlern, Defekten und unentdeckten Störungen zu den durch menschliche Aktivitäten ausgelösten Situationen erscheint zunächst ungewöhnlich. Diese Zuordnung hat jedoch keinerlei praktische Bedeutung, da die Leitlinie bei der Betrachtung abweichender Situationen keinen Unterschied zwischen natürlich und anthropogen verursachten Situationen macht. Insofern sind zwei Dinge bemerkenswert: (i) die explizite Forderung nach der Untersuchung von Fabrikations- und Auslegungsfehlern, Defekten und unentdeckten Störungen, und (ii) die völlige Gleichstellung von Situationen, die durch menschliches Handeln nach Endlagerverschluss ausgelöst sind, mit natürlich verursachten abweichenden Situationen.

Es wird gefordert, dass Maßnahmen zur Gewährleistung der Reversibilität die Sicherheit beim Betrieb und nach Verschluss des Endlagers nicht beeinträchtigen.

### **2.2.5 Optimierung / “Stepwise approach“**

Eventuelle radiologische Belastungen sind so niedrig zu halten, wie dies unter Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik sowie wirtschaftlicher und sozialer Faktoren vernünftigerweise erreicht werden kann. Die in Langzeitsicherheitsanalysen berechnete Exposition soll auch angesichts der Anstrengungen des Betreibers, diese so niedrig wie vernünftigerweise möglich zu halten, bewertet werden.

Die Sicherheit der Anlage nach Endlagerverschluss soll über einen iterativen periodischen Bewertungsprozess erreicht werden, der sich an

- der Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Komponenten im Hinblick auf die Sicherheitsfunktionen (einschließlich der Durchführung von Sensitivitätsanalysen zur Verbesserung des Systems),
- der Bewertung der Interaktion und ggf. gegenseitigen Beeinträchtigung der Komponenten (auch unter Berücksichtigung von Unsicherheiten),
- der Modellierung von Szenarien für die Referenzsituation und die abweichenden Situationen und die Bewertung berechneter Konsequenzen

orientiert. Quantitative Zielstellungen hinsichtlich der Sicherheitsfunktionen werden erst im Laufe dieses iterativen Vorgehens der Endlagerentwicklung abgeleitet werden können.

### **2.2.6 Sicherheits- und Qualitätsmanagement**

Es wird der Einsatz anerkannter QS-Maßnahmen insbesondere hinsichtlich der Auslegung, Errichtung und den Betrieb des Untertagelabors, der Auslegung des Endlagers und der Qualifizierung seiner Komponenten, der Überwachung der Produktion der Abfallgebinde, der Datenerhebung (Standort und Labor) und der Sicherheitsbewertung sowie der damit verbundenen Modellierung gefordert.

Es wird eine Überwachung des Endlagers bis zum Verschluss gefordert, wobei bestimmte Überwachungsmaßnahmen auch nach Verschluss weitergeführt werden können.

nen. Die Überwachung soll im Hinblick auf sicherheitsrelevante Phänomene und die Gewährleistung der Reversibilität erfolgen. Die diesbezüglichen Anforderungen sind bei der Auslegung zu berücksichtigen. Das Sicherheitsniveau darf nicht beeinträchtigt werden.

### **3 Großbritannien**

Für Großbritannien wurde folgende Leitlinie ausgewertet /EA 09/:

**Geological Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes:  
Guidance on Requirements for Authorisation, February 2009**

<http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0209BPJM-e-e.pdf>

#### **3.1 Rahmenbedingungen**

##### **Gesetzlicher Rahmen und regulatorische Struktur**

Der Health and Safety at Work Act (HSWA74) /HSE 74/ regelt die allgemeinen Grundsätze, die während des Betriebes von Anlagen für die Beschäftigten und die Bevölkerung eingehalten werden müssen. Weitere gesetzliche Grundlagen sind der Nuclear Installations Act 1965 (NIA65) /HMSO 65/, der die regulatorischen Anforderungen an die Sicherheit während des Betriebes von kerntechnischen Anlagen regelt. Darüber hinaus sind die Anforderungen weiterer einschlägiger Gesetze zu berücksichtigen, z. B. der Nuclear Safeguards Act 2000 /TSO 00/. Die Health and Safety Executive (HSE) ist die zuständige Genehmigungsbehörde für den Betrieb von allen kerntechnischen Anlagen, die im NIA65 aufgeführt sind. Ihr Nuclear Installations Inspektorat (NII) regelt die nukleare, radiologische und technische Sicherheit. Das Office of Civil Nuclear Security (OCNS) ist das für Sicherheitsfragen der zivil genutzten Kernenergie, einschließlich der Sicherheit von Kernmaterial im Transit zuständige Amt der HSE. Der Transport radioaktiver Stoffe auf Straßen, Schienen und Wasser in Großbritannien wird vom Department for Transport (DfT) überwacht.

Der Radioactive Substances Act 1993 (RSA93) /HMSO 93/ ist die spezifische gesetzliche Grundlage für die Genehmigung eines Endlagers. Gemäß RSA sind die Umweltagenturen für die Genehmigung von Endlagern, unter Berücksichtigung von Umweltaspekten und der Langzeitsicherheit, zuständig. Für einzelne Landesteile des Britischen Königreiches sind Umweltagenturen zuständig: Environment Agency (EA) in Großbritannien und Wales, die Scottish Environmental Protection Agency (SEPA) in Schottland, und der Environment and Heritage Service des Department of Environment in Nordirland.

Zur Implementierung eines Endlagers werden die Genehmigungen der EA und der HSE sowie die Zustimmung der Planungsbehörden benötigt.

### **Stand der Endlagerung**

In Großbritannien bestehen vier Abfallkategorien: Unterschieden wird in sehr schwachradioaktiven Abfall (VLLW), schwachradioaktiven Abfall (LLW), mittelradioaktiven Abfall (ILW) und hochradioaktiven Abfall (HLW). Ein verbindlich festgelegtes Endlagerkonzept liegt derzeit nicht vor. Zur Entsorgung von HLW, ILW und einigen LLW, die sich nicht für die Oberflächenlagerung eignen, wird die tiefe geologische Endlagerung angestrebt. Grundprinzip der geologischen Endlagerung in Großbritannien<sup>3</sup> ist die Isolation der radioaktiven Abfälle in angemessener Teufe in einem geeigneten – derzeit noch nicht bestimmten – Wirtsgestein. Das Endlagersystem basiert auf einem Mehrbarrirenkonzept mit natürlichen und technischen Barrieren. Ein detailliertes Konzept und die definitive Auslegung des Endlagers soll nach Festlegung des Standortes standortspezifisch entwickelt werden. Mit der Festlegung des Standortes ist auch die Frage zu entscheiden, ob dieser es erlaubt, ein Endlager für alle radioaktiven Abfälle zu errichten oder ob ILW und LLW in einem von HLW und abgebrannten Brennelementen getrennten Lager endzulagern sind. Während Großbritannien und Wales den Entsorgungsweg der geologischen Endlagerung stringent verfolgen, wird in Schottland die langfristige Oberflächenlagerung favorisiert.

In einem 2008 veröffentlichten „Weißbuch“ („White Paper“) – das ist eine politische Absichtserklärung ohne Rechtsverbindlichkeit – zeigt die Regierung den geplanten Weg zur Implementierung eines künftigen geologischen Endlagers auf /TSO 08/. Aufgrund des langen Zeitraums, den der Entwicklungsprozess eines Endlagers in Anspruch nimmt, sollte hierbei auf Empfehlung des „Committee on Radioactive Waste Management (CoRWM)“ die sichere Zwischenlagerung einen integralen Teil der langfristigen Entsorgungsstrategie darstellen.

### **Standortauswahlprozess**

Die Standortsuche soll ohne Vorfestlegung auf ein bestimmtes Wirtsgestein durchgeführt werden. Die Standortsuche und -festlegung soll auf Freiwilligkeit beruhen und soll

---

<sup>3</sup> ausgenommen Schottland.

daher in engem Kontakt mit den betroffenen Kommunen durchgeführt werden /TSO 08/. Der Standortauswahlprozess soll schrittweise durchgeführt werden mit der Möglichkeit der Prüfung zur Fortsetzung oder der Möglichkeit den Prozess nach jedem Schritt anzuhalten. Bis zur untertägigen Erkundung sind folgende Stufen zu durchlaufen (Interessensbekundung von Seiten der potenziellen Standortgemeinde ohne Verpflichtung (Stufe 1); erstes Selektieren zur Verwerfung ungeeigneter Standorte (Stufe 2); formale Verpflichtung zur Teilnahme am Auswahlprozess ohne endgültige Verpflichtung zur Errichtung des Endlagers (Stufe 3); Vergleich der Eignung der Standorte anhand von Unterlagen und Entscheidung für den nächsten Schritt des Auswahlprozesses (Stufe 4); Regierungsentscheid über die Anzahl der weiter zu untersuchenden Standorte; obertägige Erkundung der verbliebenen Standortkandidaten (Stufe 5), letzte Gelegenheit zum Rücktritt, die behördliche Genehmigung liegt noch nicht vor). Danach beginnt die untertägige Erkundung (Stufe 6) zur Feststellung der Standorteignung, bei Erfüllung der regulatorischen Anforderungen wird die Erlaubnis zur Errichtung des Endlagers erteilt.

### **Übergeordnete Festlegungen zur Rückholbarkeit**

Nach dem "White Paper" der Regierung /TSO 08/ sollen Planung, Auslegung und Errichtung des Endlagers so vorgenommen werden, dass die Rückholung der Abfälle nicht ausgeschlossen ist. Die Regierung stimmt aber grundsätzlich der Schlussfolgerung "leaving a facility open, for centuries after waste has been emplaced, increases the risks disproportionately to any gains" ihres Beratergremiums CoRWM zu. In Anbetracht des bevorstehenden langen Zeitraums der Implementierung des Endlagers und der definitiven Entscheidung zu einem raschen Verschluss des Endlagers, will die Regierung aber die Option für die Rückholung resp. für eine längere Phase der Offenhaltung des Endlagers derzeit aufrechterhalten. Eine diesbezügliche Entscheidung soll später in einem Diskussionsprozess mit Behörden und Betroffenen erfolgen /TSO 08/. In der Richtlinie /EA 09/ wird zum heutigen Zeitpunkt die Rückholung als behördlich geforderter konzeptioneller Bestandteil eines Endlagers nicht thematisiert.

### **Rechtliche Stellung der Sicherheitsanforderungen**

Die Richtlinie "Guidance on Requirements for Authorisation 'Geological Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes'" /EA 09/ wurde im Februar 2009 durch die Umweltagenturen von Großbritannien und Wales sowie von Nordirland veröffentlicht. Da Schottland den Entsorgungsweg der Endlagerung in tiefen geologischen For-

mationen nicht unterstützt, ist die Richtlinie in Schottland nicht gültig. Die Richtlinie erläutert die regulatorischen Anforderungen, die der Antragsteller resp. der Betreiber bei der Entwicklung und beim Betrieb eines Endlagers für feste radioaktive Abfälle einzuhalten hat, um eine behördliche Genehmigung zu erlangen /EA 09/. Die Richtlinie enthält keine Regelungen für den Standortauswahlprozess.

### **Genehmigungsweg**

Die Erlangung einer sogenannten "planning permission" ist der erste Schritt im Genehmigungsprozess eines Endlagers. Diese Genehmigung erfordert die Vorlage einer Umweltverträglichkeitsprüfung bei einer lokalen Planungsbehörde. Unabhängig davon sind weitere Genehmigungen durch die Umweltagenturen (EA) nach RSA93 und durch HSE nach NIA65 erforderlich. Die EA sind für die Umweltaspekte und Langzeitsicherheit und die HSE für die Aspekte der radiologischen Sicherheit während des Betriebes nuklearer Anlagen zuständig. Zur Erlangung der Betriebserlaubnis muss der Antragsteller der HSE einen entsprechenden Sicherheitsnachweis ("safety case")<sup>4</sup> inklusive Nachweis eines adäquaten Sicherheitsmanagements vorlegen. Die EA fordern einen "environmental safety case"<sup>5</sup>. Zwischen den EA und der HSE besteht Informations- und Abstimmungspflicht /EAH 03/. Die Erteilung der Genehmigung soll zudem im Einvernehmen mit der Öffentlichkeit geschehen, um den Endlagerentwicklungsprozess nicht unnötig zu verzögern. Die Implementierung des Endlagers folgt grundsätzlich einem stufenweisen Prozess. Gegenwärtig erfolgt die Endlagerentwicklung bis zur Betriebsgenehmigung in einem gegenseitigen Abstimmungsprozess zwischen dem Regulator und dem Antragsteller unter Beteiligung lokaler Behörden und weiteren Stakeholdern. Die Verantwortung für die ersten Stufen unterliegt dem Antragsteller. Es ist geplant, vor Erteilung der Betriebsgenehmigung auf regulatorischem Wege weitere Teilgenehmigungen vorzusehen und gesetzlich zu verankern, um die regulatorische und planerische Sicherheit für den Antragsteller zu erhöhen /EA 09/ (s. Kapitel 3.2.5).

---

<sup>4</sup> Der "safety case" ist für den Zeitraum erforderlich, während dem der Standort einer atomrechtlichen Genehmigung unterliegt, insbesondere in der Betriebsphase. Die Argumente im "safety case" nach HSE müssen kompatibel sein mit den Argumenten in einem "environmental safety case"

## **3.2 Anforderungen**

### **3.2.1 Schutzziele und Schutzkriterien für Betriebs- und Nachbetriebsphase**

#### **Schutzziele**

Der Schutz von Mensch und Umwelt ist prioritär im Regelwerk verankert.

Grundlegendes Schutzziel ist, die Entsorgung aller Arten von festen radioaktiven Abfällen in Anlagen so vorzunehmen, dass die Gesundheit und die Ansprüche des Menschen sowie der Schutz der Umwelt zum Zeitpunkt der Entsorgung und in der Zukunft - unter Berücksichtigung der entstehenden Kosten - gewährleistet ist.

Für die Endlagerung sind darüber hinaus folgende Grundsätze ("principles") zu beachten:

- Erstreckungsbereich des Schutzes  
Das Schutzniveau für Mensch und Umwelt vor radiologischen Gefahren zur Zeit der Entsorgung und in der Zukunft muss den zum Zeitpunkt der Entsorgung geltenden nationalen Bestimmungen entsprechen.

Unter diesen Grundsatz fällt in der Richtlinie u. a.:

Die Sicherheitsstandards gelten nicht nur innerhalb der Landesgrenzen, sondern auch außerhalb.

Der Schutz künftiger Generationen muss dem heutigen Schutzniveau entsprechen.

Der Schutz der Umwelt erstreckt sich auf die Erhaltung der biologischen Vielfalt und dem Erhalt der Arten und soll den natürlichen Lebensraum und die Gemeinschaften der Lebewesen bewahren.

- Optimierung  
Feste radioaktive Abfälle sind so zu entsorgen, dass die radiologischen Risiken für Einzelpersonen und für die Gesamtbevölkerung so gering wie unter den gegebenen Umständen zum Zeitpunkt der Entsorgung unter Berücksichtigung ökonomischer und sozialer Faktoren angemessen möglich sind. Diese Grundforderung entspricht dem ALARA-Prinzip ("As Low As Reasonable

Achievable“) unter Berücksichtigung ökonomischer und sozialer Aspekte. Das Optimierungsgebot gilt nur für den Schutz des Menschen. Zudem sind die radiologischen Risiken anderer Lebewesen und jedwede Risiken nichtradiologischer Gefahren angemessen zu berücksichtigen. Im Rahmen der Optimierung sind neben ökonomischen und sozialen Fragen u. a. auch Sicherungsmaßnahmen und Safeguardsbestimmungen einzubeziehen.

- Schutz vor konventionellen Schadstoffen  
Feste radioaktive Abfälle sind so zu entsorgen, dass Mensch und Umwelt ein adäquater Schutz gegen nichtradiologische Gefahren zuteil wird, der den zum Zeitpunkt der Entsorgung geltenden nationalen Sicherheitsstandards entspricht.
- Passive Sicherheit  
Feste radioaktive Abfälle sind so zu entsorgen, dass eine unangemessene Abhängigkeit von menschlichem Handeln zum Zeitpunkt der Entsorgung und in der Zukunft, was den Schutz von Mensch und Umwelt vor radiologischen und allen nicht-radiologischen Gefahren anbelangt, zu vermeiden ist. Nach Beendigung der “period of authorisation“<sup>5</sup> muss die Sicherheit des Endlagers nachsorgefrei gewährleistet sein.
- Offenheit und Beteiligung  
Die zuständige Umweltagentur muss dafür sorgen, dass alle Interessensgruppen und die Öffentlichkeit über die regulatorischen Ziele, Prozesse und Fragen offen und umfassend in Kenntnis gesetzt werden.

---

<sup>5</sup> Die “period of authorisation“ umfasst den Zeitabschnitt oder eine Folge von Zeitabschnitten, für die eine Behörde oder Institution (z. B. Antragsteller) im Hinblick auf die Verantwortung für die Sicherheit des Endlagers autorisiert ist. Die Autorisierung beginnt mit der Betriebsphase und erstreckt sich maximal bis zum Zeitabschnitt des Monitorings und der aktiven institutionellen Kontrolle nach Verschluss.

### 3.2.1.1 Schutzkriterien für die Betriebsphase

#### Schutz des Menschen

Die Summe der erhaltenen Einzeldosen darf den Grenzwert der effektiven Dosis von **1 mSv pro Jahr** nicht überschreiten /EC 96/.

Grundsätzlich unterliegt die von einem Endlager ausgehende Strahlenexposition der Bevölkerung dem **ALARA-Prinzip** - unter Berücksichtigung ökonomischer und sozialer Faktoren.

Im Einzelnen gelten folgende Richtwerte als obere Grenze für die Optimierung:

#### **Begrenzung der Dosis in der Zeit der “period of authorisation“**

*(Requirement R5: Dose constraints during the period of authorisation)*

- **0,3 mSv pro Jahr** für jede Quelle mit radioaktiven Freisetzungen oder
- **0,5 mSv pro Jahr** für Freisetzungen bei einem einzelnen Standort

Während der Zeit der “period of authorisation“ des Endlagers für feste radioaktive Abfälle darf die effektive Dosis aufgrund von Freisetzungen aus dem Endlager für ein Mitglied der kritischen Gruppe den quellenbezogenen Dosiswert resp. den standortbezogenen Richtwert nicht überschreiten.

Daneben gibt es in der Richtlinie noch die Empfehlung zusätzlich die von der Health Protection Agency (HPA) /HPA 09/) empfohlene **Jahresdosis von 0,15 mSv** als Richtwert für den Schutz der Bevölkerung für alle neu errichteten Endlager in der Betriebsphase und der Phase der aktiven institutionellen Kontrolle zu berücksichtigen.

### 3.2.1.2 Schutzkriterien für die Phase nach Verschluss

#### Schutz des Menschen

#### **Begrenzung des Risikos in der Zeit nach der “period of authorisation“**

*(Requirement R6: Risk guidance level after the period of authorisation)*

- Risikorichtwert: **10<sup>-6</sup> pro Jahr**

Das ermittelte radiologische Risiko korrespondiert mit dem Produkt aus der geschätzten effektiven Dosis, der geschätzten Wahrscheinlichkeit, dass diese Dosis appliziert wird, und der geschätzten Wahrscheinlichkeit, dass die betroffene Person einen Schaden als Konsequenz aus der Exposition erleidet. Bei einem Vergleich mit dem Risikorichtwert müssen alle Einzelheiten, die zu einer Erhöhung der Dosis der betroffenen Person führen können, berücksichtigt werden.

Für stochastische Effekte (z. B. bei einer jährlichen effektiven Dosis unter 100 mSv und Äquivalentdosen für verschiedene Organe unterhalb der Schwelle für deterministische Effekte) sollte in Anlehnung an die Empfehlung der HPA /HPA 09/ ein schadensangepasster Risikokoeffizient von 0,06 per Sv verwendet werden. Deterministische Effekte sind getrennt zu betrachten.

Der Risikorichtwert gilt nicht für künftiges unbeabsichtigtes menschliches Eindringen.

### **Schutz der Umwelt**

Es wird zunächst davon ausgegangen, dass nicht menschliche Lebewesen auf Populationsebene keinen Gefahren durch genehmigte Freisetzungen radioaktiver Stoffe ausgesetzt sind, solange der Mensch geschützt ist. Der Antragsteller muss aber sowohl für die Phase institutioneller Überwachung als auch für die Phase danach eine Bewertung der radiologischen Auswirkungen des Endlagers auf die Umwelt auf der Basis des Standes von Wissenschaft und Technik (W & T) vornehmen (*Requirement R9: Environmental radioactivity*). Hierzu werden jedoch keine konkreten Kriterien vorgegeben.

### **Schutz vor nichtradiologischen Gefahren**

Gemäß *Requirement R10: Protection against non-radiological hazards* ist ein adäquater Schutz vor den schädlichen Auswirkungen chemotoxischer Substanzen vorzusehen. Das Ausmaß des Schutzes kann sich an den nationalen Standards für die Entsorgung chemotoxischer Stoffe orientieren, auch wenn diese im Falle der Endlagerung nicht direkt anwendbar sind.

## **3.2.2 Anforderungen an Bau (oder Auslegung), Betrieb, Verschluss**

### **3.2.2.1 Auslegungsgrundsätze**

Nach *Requirement R11: Site investigation* muss der Antragsteller Programme zur Untersuchung und Charakterisierung des Standortes entwickeln, die die notwendigen Informationen für den “environmental safety case“ liefern und der Auslegung und dem Bau zugrunde gelegt werden. Dazu gehören u. a.: Das Verständnis der Lithologie, Stratigraphie, Geochemie, der lokalen und regionalen Hydrologie und das Ressourcenpotenzial des Standortes, die Charakterisierung der Biosphäre zur Ermittlung der potenziellen Strahlendosen in der Zeit der “period of authorisation“ und des potenziellen Risikos in der Zeit nach der “period of authorisation“ mittels Langzeitsicherheitsanalysen.

Vom Antragsteller wird gefordert, dass er vor der Errichtung des Endlagers einen “environmental safety case“ vorlegt, der Basis für die Errichtungsgenehmigung ist. Bei der Auslegung und der Errichtung ist der Stand von W&T in und außerhalb Großbritannien zu beachten. Bei der Endlagererrichtung sind die Anforderungen aus dem Optimierungsprozess zu erfüllen und gute Ingenieurspraxis (bewährte und geprüfte Methoden) zur Anwendung zu bringen. Das bedeutet in der Regel den Einsatz bewährter Technologien. Sollten bei der Errichtung und im Betrieb neue Techniken zur Anwendung kommen, müssen diese zuvor erprobt werden. Die Erfüllung der in den Auslegungsgrundsätzen gemachten Vorgaben muss nachgewiesen werden.

Anforderungen an die Auslegung sind vor allem in *Requirement 12: Use of site and facility design, construction, operation and closure* enthalten.

Es ist sicherzustellen, dass das Endlager so ausgelegt, errichtet und betrieben wird – sowie nach Betriebsende verschlossen werden kann –, dass nicht akzeptable Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Endlagersystems vermieden werden. Dies bedeutet u. a.:

- Der für das Endlager vorgesehene Teil des Wirtsgesteins muss groß genug sein, um die anfallenden Abfallmengen aufnehmen zu können, wobei er weit genug von geologischen Formationen mit weniger geeigneten Eigenschaften entfernt sein sollte.

- Der Antragsteller muss zeigen, dass der Bau des Endlagers das geologische Umfeld und die einschlusswirksamen Eigenschaften des Wirtsgesteins nicht nachhaltig schädigt. Der anthropogene Eingriff ist so schonend wie möglich zu gestalten.
- Durch die Abfälle hervorgerufene Effekte wie Gasentwicklung, Temperaturanstieg und Kritikalität sind hierbei zu berücksichtigen.
- Der Antragsteller muss während der Planung zur Endlagerauslegung sowie periodisch während der Betriebsphase demonstrieren, dass er in der Lage ist, das Endlager sicher zu verschließen.
- Gegen vorhersehbare geologische und geotechnische Probleme während Endlagerauffahrung, Betrieb und Verschluss sind Pläne für Korrekturmaßnahmen vorzusehen.

### 3.2.2.2 Endlagerbetrieb und -verschluss

Die Erlaubnis zum Betrieb des Endlagers wird erst erteilt, wenn ein aktueller "environmental safety case" vorgelegt und gezeigt wurde, dass alle Anforderungen des (*Requirement R3: Environmental safety case*, s. u.) erfüllt sind.

Während des Betriebes sind für die Bevölkerung die vorgegebenen **radiologischen Richtwerte** gemäß *Requirement R5: Dose constraints during the period of authorisation* einzuhalten:

- **0,3 mSv pro Jahr** für jede Quelle mit radioaktiven Freisetzungen oder
- **0,5 mSv pro Jahr** für Freisetzungen bei einem einzelnen Standort
- Daneben gibt es noch die Empfehlung der Health Protection Agency (HPA) /HPA 09/ **0,15 mSv Jahresdosis** als Richtwert für die Bevölkerung

Die Richtwerte stellen die Obergrenzen der Optimierung dar, die nach dem ALARA-Prinzip zu erfolgen hat. Dabei sind ökonomische und soziale Faktoren zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass viele verschiedene Sicherheitsaspekte betrachtet werden müssen, auch die Behandlung nicht radiologischer Gefahren (*Requirement R10: Protection against non-radiological hazards*). Dabei muss u. a. abgewogen werden zwischen Kurzzeitfaktoren wie z. B. der Strahlenexposition des Personals und den Kosten

und den Langzeitfaktoren wie der Exposition der Bevölkerung nach Verschluss des Endlagers. Obwohl die Reduzierung des radiologischen Risikos (Dosis) ein wesentlicher Aspekt ist, muss die beste Option nicht notwendigerweise das geringste radiologische Risiko darstellen. Zudem ist ein adäquater Schutz der Umwelt gemäß *Requirement R9: Environmental radioactivity* zu gewährleisten. Dabei wird zunächst davon ausgegangen, dass nicht menschliche Lebewesen auf Populationsebene keinen Gefahren durch genehmigte Freisetzungen radioaktiver Stoffe ausgesetzt sind, solange der Mensch geschützt ist. Der Antragsteller muss dennoch eine Einschätzung der Auswirkung des Endlagers auf die Umwelt auf der Basis der zum Zeitpunkt der Bewertung besten Information vornehmen.

Zur Unterstützung des "environmental safety case" muss der **Antragsteller ein Monitoring-Programm** zur Überwachung des Endlagers während der Errichtung und des Betriebs und nach Verschluss des Endlagers vorsehen (*Requirement R14: Monitoring*). Die Überwachungssysteme dürfen die Sicherheit des Endlagers nicht negativ beeinflussen. Das Überwachungsprogramm dient während der Betriebsphase u. a. der Bestätigung, dass die im "environmental safety case" vorgegebenen radiologischen Grenzwerte und nicht radiologischen Parameter eingehalten werden und zur Absicherung der in den Sicherheitsaussagen zugrunde gelegten Daten und Prozesse.

Während des Betriebes sind periodisch **Sicherheitsüberprüfungen** vorzunehmen. In einem jeweils aktualisierten "environmental safety case" ist der zwischenzeitlich während der Errichtungs- und Betriebsphase erreichte Erkenntniszuwachs, ein vertieftes Verständnis für den Standort, neue Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung, Erfahrungen in anderen Ländern und technische Fortschritte bei Konditionierung und Verpackung der Abfälle zu berücksichtigen. Die Sicherheit des Betriebes ist durch ein adäquates Sicherheits- und Qualitätsmanagement zu gewährleisten. Hierbei muss beste Ingenieurspraxis zur Anwendung kommen. Der Betreiber hat eine Dokumentation über alle Betriebsvorgänge anzulegen. Auch während der Betriebsphase sollen die Kenntnisse und das Verständnis über das Endlager vertieft werden (*Requirement R4: Environmental safety culture and management system*).

Der Antragsteller hat geeignete **Annahmebedingungen** für die Abfälle zu entwickeln und zu gewährleisten, dass sie während des Betriebs angewendet werden (*Requirement R13: Waste acceptance criteria*).

Nach Beendigung der Einlagerung muss ein "post-operational environmental safety case" - einschließlich eines Verschlussplans - vorgelegt werden.

### **3.2.3 Anforderungen an die Langzeitsicherheit**

#### **Mehrbarrierensystem und multiple Sicherheitsfunktionen**

Es wird ein Multibarrierensystem - bestehend aus technischen und natürlichen Barrieren - gefordert. Die Barrieren weisen unterschiedliche Sicherheitsfunktionen auf. Die Richtlinie unterscheidet zwischen einem System „physikalischer Barrieren“ und einem System multipler Sicherheitsfunktionen, d. h. sicherheitsgerichteter Eigenschaften der verschiedenen Teilsysteme des gesamten Endlagersystems, deren Zusammenwirken die übergeordnete Sicherheitsanforderung der Rückhaltung der Radionuklide im Endlager erfüllen soll. In /EA 09/ wird diese Unterscheidung deutlich hervorgehoben. Beispielsweise stellt das Wirtsgestein einerseits eine physikalische Barriere (im Sinne geringer Permeabilität) dar. Andererseits wird es durch weitere Sicherheitsfunktionen (z. B. ein im Hinblick auf die Radionuklidsorption günstiges geochemisches Milieu) charakterisiert. Dieser konzeptionelle Ansatz (Barrieren + Sicherheitsfunktionen) wird als "Multiple-Function Environmental Safety Approach" bezeichnet. Im Rahmen des "environmental safety case" ist nachzuweisen, welche Sicherheitsfunktionen jedem Teilsystem des Endlagers zukommen, für welche Radionuklide die einzelnen Sicherheitsfunktionen relevant und über welche Zeiträume sie wirksam sind.

#### **– Redundanz / Diversität**

Es werden in /EA 09/ keine expliziten Anforderungen bezüglich physischer oder materieller Redundanz / Diversität der Barrieren gestellt. Redundanz ist jedoch vom Konzept her implizit gegeben, da verschiedene Barrieren über bestimmte Zeiträume zeitgleich wirken. Darüber hinaus weisen die verschiedenen Endlagerkomponenten (u. a. die Barrieren) jeweils mehrere Sicherheitsfunktionen auf. Der Fall einer Schwächung der Wirkung einer Sicherheitsfunktion einer Barriere muss sich nicht zwingend negativ auf die anderen Sicherheitsfunktionen auswirken, wodurch eine „funktionale“ Redundanz auch im Fall ein und derselben Barriere gesehen wird. Im Rahmen des "environmental safety case" ist nachzuweisen, dass die Sicherheit des Endlagers nach Verschluss nicht schwerpunktmäßig von einer einzigen Sicherheitsfunktion abhängen sollte, eine Forderung, die dem "defense in depth" -Prinzip entspricht.

## – Passive Sicherheit

Einen hohen Stellenwert im britischen Endlagerkonzept besitzt die Forderung nach passiver Sicherheit während des Betriebs und insbesondere nach Verschluss des Endlagers. Hintergrund ist die Forderung, dass kein übermäßiges Vertrauen in die Zuverlässigkeit aktiver menschlicher Maßnahmen zu setzen ist (*Principle 5: Reliance on human action*).

Passive Sicherheit wird erreicht durch:

- gute (erprobte bzw. bewährte) technische Verfahren bzw. Praxis
- Immobilisierung von radioaktivem Material durch Verfestigung derart, dass eine nur geringe Löslichkeit der Radionuklide sowie eine möglichst hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Temperaturänderungen und chemischen oder biologischen Prozessen vorliegt
- stabile korrosionsbeständige Behälter und ein im Hinblick auf die Behälterstandzeit günstiges und stabiles geochemisches Milieu im Nahfeldbereich
- Verwendung eines Multibarrierenkonzeptes

## Institutionelle Anforderung an die Phase nach Verschluss

Voraussetzung zur Durchführung der institutionellen Kontrolle in der Phase nach Verschluss des Endlagers ist die Planung und der Nachweis der dazu notwendigen organisatorischen und finanziellen Vorkehrungen im Rahmen des "environmental safety case". Dazu gehören ein fortgesetztes Sicherheitsmanagement, Vorhaltung entsprechenden Personals und die Anlagensicherung. Dem Optimierungsgedanken ist auch hier Rechnung zu tragen. Während der Zeit der aktiven Kontrolle sind Maßnahmen zur Überwachung des Standortes, ein Umweltmonitoring, eine Überwachung der Flächennutzung des ehemaligen übertägigen Anlagengeländes durchzuführen und Vorkehrungen zum sicheren Erhalt von Informationen über das Endlagersystem zu treffen. Die Monitoringprogramme dürfen die Sicherheit der Anlage nicht negativ beeinflussen. Es wird davon ausgegangen, dass die Umweltbehörden eine aktive institutionelle Kontrolle nicht länger als **300 Jahre** nach Ende der Einlagerung gewährleisten können.

Der von der HPA empfohlene Richtwert von 0,15 mSv Jahresdosis für die Bevölkerung kommt auch in der "period of authorisation" nach Endlagerverschluss zur Anwendung.

Für die Zeit nach Verschluss, resp. in der Zeit, in der keine aktive institutionelle Kontrolle mehr vorausgesetzt werden kann oder stattfindet, ist der Risikowert gemäß *Requirement R6* (s. Kapitel 3.2.1) anzusetzen.

Für die Dauer der aktiven institutionellen Kontrolle müssen Maßnahmen zum Erhalt der Informationen über das Endlagersystem vorgesehen werden. Danach sollen diese in öffentlichen Archiven verwahrt werden.

Markierungen des Endlagerstandortes an der Erdoberfläche sind im Rahmen der Maßnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit unbeabsichtigten menschlichen Eindringens zu diskutieren. Eine explizite Anforderung zur Kennzeichnung des Endlagers am Standort enthält die Richtlinie nicht.

### **Behandlung menschlichen Eindringens**

Gemäß *Requirement R7: Human intrusion after the period of authorisation* wird davon ausgegangen, dass unbeabsichtigtes menschliches Eindringen in der Zeit nach der "period of authorisation" aufgrund des Konzeptes der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen sehr unwahrscheinlich ist. Der Antragsteller muss aber geeignete Maßnahmen treffen, um diese Wahrscheinlichkeit weiter zu verringern. Zusätzlich sind die potenziellen Konsequenzen menschlichen Eindringens in der Zeit nach der "period of authorisation" zu bewerten.

Menschliches Eindringen ("human intrusion") wird je nach Kenntnisstand über die Existenz des Endlagers in drei Klassen eingeteilt:

- Bewusstes Eindringen in voller Kenntnis von Existenz, Lage, Art und Inventar des Endlagers.
- Unbeabsichtigtes Eindringen ohne Kenntnisse über das Endlager.
- Wissen um die Existenz früherer Bergbautätigkeiten am Standort, jedoch ohne Kenntnis der konkreten Gefahren durch die eingelagerten radioaktiven Abfälle.

Der erste Fall wird in die Verantwortung der handelnden Gesellschaft gestellt, weshalb keine Präventivmaßnahmen vom Antragsteller gefordert werden. Er hat somit nur die letzten beiden Aktivitäten zu berücksichtigen, wobei sowohl das direkte Eindringen in das Endlager als auch solche Aktionen, die zur Verletzung der oder Verminderung der

Barrierenwirksamkeit führen, im Hinblick auf die Bewertung der Konsequenzen bzw. die Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit einzubeziehen sind.<sup>6</sup>

Die Maßnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit unbeabsichtigten menschlichen Eindringens sind Teil der in *Requirement R8* im Rahmen der Optimierung zu untersuchenden Optionen. Es wird kein allumfassender Nachweis gefordert, in dem alle erdenklichen Maßnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit dargestellt und gegeneinander abgewogen werden. Vielmehr wird eine plausible Darstellung geeigneter Maßnahmen im Rahmen der begleitenden Zusatzargumente im Sicherheitsnachweis ("environmental safety case") empfohlen. Maßnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit unbeabsichtigten menschlichen Eindringens dürfen ferner nicht die Sicherheit des Endlagersystems (für den ungestörten Fall) beeinträchtigen und sind daher seitens der Genehmigungsbehörde im Einzelnen zustimmungspflichtig.

/EA 09/ enthält keine spezifischen Vorgaben (wie z. B. stilisierte Szenarien) für die Bewertung menschlichen Eindringens. Aufgrund von Unsicherheiten bezüglich des Zeitpunkts, der Art und des Ausmaßes sollen die Konsequenzen menschlichen Eindringens nur im Rahmen von "what-if"-Szenarien untersucht werden. Dabei ist von heutiger Technologie und heutigen Tätigkeiten auszugehen und das heutige Verhalten des Menschen bei ähnlichen Aktionen zugrundezulegen, ebenso müssen plausible Angaben zu der Anzahl der betroffenen Personen gemacht werden. Es sind die radiologischen Konsequenzen für die in das Endlager eindringenden Personen und für Personen, die sich in der Umgebung aufhalten, abzuschätzen. Dabei sind alle Radionuklide und deren Zerfallsprodukte, die einen Beitrag zur Dosis liefern, und die Inhomogenitäten in den Abfällen zu berücksichtigen. Zudem sind Einschätzungen der radiologischen Belastung von anderen Lebewesen vorzunehmen und die Auswirkungen auf Populationsebene entsprechend *Requirement R9: Environmental radioactivity* darzustellen.

---

<sup>6</sup> Bei menschlichen Handlungen, die außerhalb des Barrierensystems des Endlagers erfolgen, z. B. bei der Anbohrung eines Grundwasserleiters, der mit Radionukliden aus dem Endlager kontaminiert ist, ist der Risikorichtwert (s. Kapitel 3.2.1.2) anzuwenden.

### 3.2.4 Rückholbarkeit

Die Richtlinie enthält explizit keine Anforderung hinsichtlich der Rückholung der Abfälle. Es wird lediglich gefordert, dass, sofern der Antragsteller Vorkehrungen zur Rückholbarkeit treffen sollte, diese das im "environmental safety case" dargelegte Sicherheitskonzept nicht konterkarieren dürfen. D. h. es muss gezeigt werden, dass ein verzögerter Verschluss resp. eine längere Phase der Offenhaltung nach Beendigung der Einlagerung nicht zu Lasten der Langzeitsicherheit des Endlagers geht.

### 3.2.5 Optimierung / "Stepwise approach"

#### Optimierung

Auf der Basis des Grundsatzes der Optimierung, dem das im Strahlenschutz für die Betriebsphase geforderte ALARA-Prinzip zugrundeliegt, enthält die Richtlinie zusätzlich explizit eine Anforderung zur Optimierung (*Requirement R8: Optimisation*), die den gesamten Prozess der Endlagerung – Zeitabschnitt der "period of authorisation" und den Zeitabschnitt danach einbezieht und zusätzlich die Berücksichtigung ökonomischer und sozialer Faktoren fordert. Im Grundsatz bedeutet Optimierung: kontinuierlicher, vorausblickender und iterativer Prozess für alle Phasen der Endlagerentwicklung - Planung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung. Optimierung betrifft in der Betriebsphase primär die Minimierung der radiologischen Risiken für Mensch und Umwelt auf der Basis des dosisbezogenen ALARA-Prinzips der ICRP /ICR 91/.

Zu den Optimierungsaspekten gehören insbesondere:

- Anzahl der Personen (Beschäftigte / Bevölkerung) und anderer Schützgüter, die einem radiologischen Risiko ausgesetzt sind
- Höhe und Verteilung der Strahlenexposition über Zeit und Raum
- Anforderungen an die kerntechnische Sicherheit und Safeguardsbestimmungen
- Minimierung nicht-nuklearer Gefahrenpotenziale (chemotoxische Schadstoffe)
- Ökonomische, gesellschaftliche und umweltschutzbezogene Aspekte
- Berücksichtigung von Unsicherheiten in allen angeführten Punkten

Die Berücksichtigung gesellschaftlicher und ökonomischer Faktoren als wesentlicher Optimierungsaspekt erfordert einen ständigen Dialog der Beteiligten – Antragsteller und Versorgungsunternehmen auf der einen, Regulator und Gemeinden auf der anderen Seite. **Optimierung bedeutet unter Abwägung aller Aspekte den besten Weg zu finden.** Der beste Weg ist dabei nicht notwendigerweise derjenige mit dem geringsten radiologischen Risiko. D. h. es müssen verschiedene Optionen untersucht werden mit der Möglichkeit, unter verschiedenen Alternativen zu wählen. Optimierung wird nach /EA 09/ mit einer schrittweisen Entscheidungsfindung mit Haltepunkten nach jedem Schritt verknüpft. An jedem Haltepunkt muss der Antragsteller belegen, dass er das Endlagersystem ausreichend optimiert hat.

Seit Juni 2008 liegt ein Gesetzesentwurf /DEF 08/ vor, der die Einführung des Optimierungsansatzes BAT (“Best Available Technique“) fordert. Primäres Ziel der Einführung von BAT ist, den Schutz von Mensch und Umwelt durch Einsatz der besten verfügbaren Technologie zu optimieren. Die EA hat im Juni 2008 die Leitlinie “Assessment of Best Available Technique“ zur Beratung veröffentlicht /EA 08a/. Hierin wird das Konzept der BAT beschrieben, aber es werden keine Hinweise zur technischen Durchführung gegeben und keine Standards vorgelegt. Die EA hat zudem “Radioactive Substances Regulation Environmental Principles (REPs)“ entwickelt und im Juni 2008 /EA 08b/ ebenfalls zur Beratung vorgelegt. Nach diesen REPs muss der Antragsteller zukünftig BAT bei der Optimierung berücksichtigen. Die REPs sollen im Laufe diesen Jahres veröffentlicht werden.

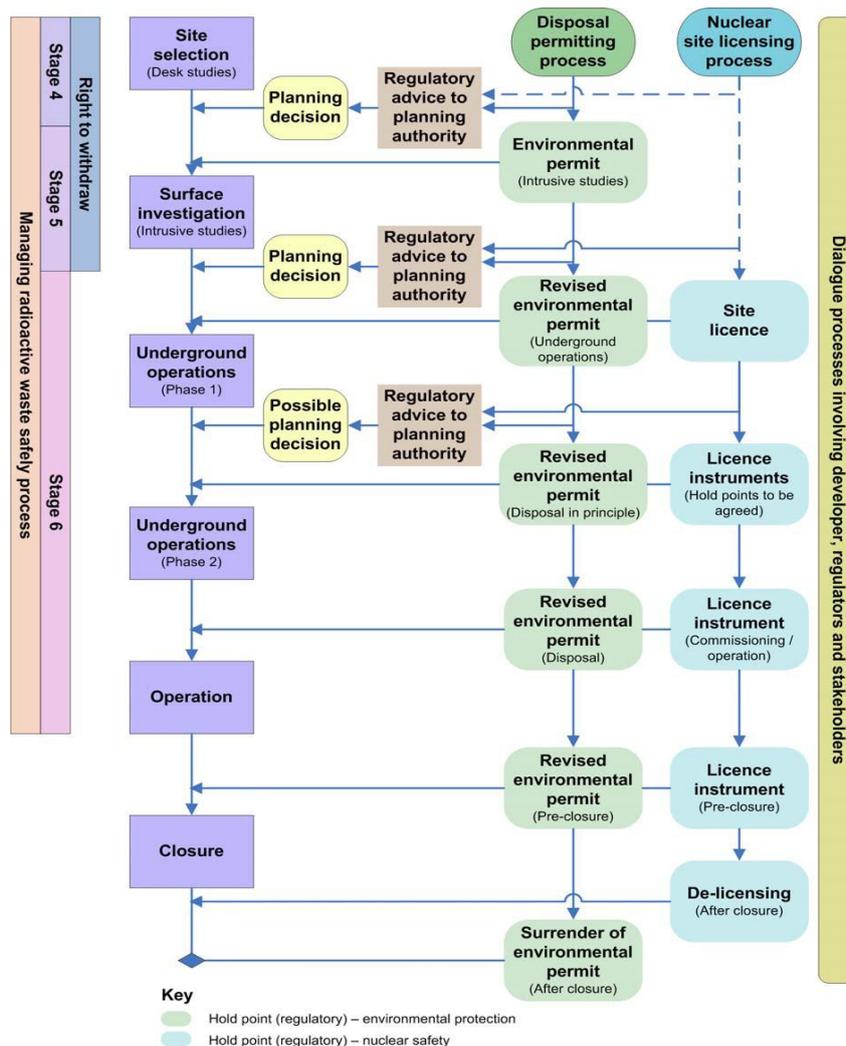
### **Stepwise approach**

Die gesamte Entwicklung des Endlagers muss nach dem derzeit vorliegenden Regelwerk /EA 09/ einem **“process by agreement“** (*Requirement R1*) unterliegen. Dieser ist bis zur Erteilung der gesetzlich erforderlichen Genehmigungen für den Einlagebetriebs durch die EA und die HSE aufrechtzuerhalten. Alternativ wird seitens der EA angestrebt, nach einer anfänglichen Phase des geforderten “process by agreement“ vor Beginn der obertägigen Standortuntersuchung, ein gestuftes Genehmigungsverfahren (**“staged authorisation“**) mit Teilgenehmigungen für die weitere Implementierung des Endlagers einzuführen. Hierzu müsste die Gesetzgebung entsprechend geändert werden. Im diesem Fall würde dies die behördliche Aufsicht während des gesamten Entwicklungsprozesses bedeuten, beginnend mit der obertägigen Erkundung und fest vorgegebenen Haltepunkten während der Dauer dieses regulatorischen Prozesses (s. Abbildung 3.2-1). Nach jedem Haltepunkt wird die Erteilung einer

Genehmigungslizenz der Umweltbehörde (“environmental permit“) gefordert. Sofern ein solches gestuftes Teil-Genehmigungsverfahren nicht rechtzeitig verfügbar ist, würde der “process by agreement“ – unter ständiger Beratung des Antragstellers seitens der Genehmigungsbehörde - solange weitergehen, bis der Antragsteller einen Antrag auf Genehmigung unter RSA93 (s. o.) stellt. In jedem Fall, soll der Entwicklungsprozess in ständigem Dialog zwischen Genehmigungsbehörde und Antragsteller unter Einbezug der Planungsbehörde und der potenziellen Standortgemeinde sowie weiterer Stakeholder – entsprechend *Requirement R2: Dialogue with potential host communities and others* - von statten gehen (s. Abbildung 3.2-1).

Die Regierung plant eine Gesetzesänderung im Sinne einer “staged authorisation“. Nach dem Weißbuch der Regierung /TSO 08/ unterliegt der Standortauswahlprozess insgesamt 6 Stufen, beginnend mit der Interessensbekundung einer potenziellen Standortgemeinde (Stufe 1), Screening und Verwerfung ungeeigneter Standorte (Stufe 2), über die Teilnahmeverpflichtung am Auswahlprozess ohne Verpflichtung zur Errichtung des Endlagers (Stufe 3), die Bewertung der Standorte auf der Basis vorhandener Unterlagen der beteiligten Gebiete (Stufe 4), die obertägige Erkundung der verbliebenen potenziellen Standorte (Stufe 5) bis zur untertägigen Erkundung (Stufe 6). Obwohl der Standortauswahlprozess (Stufe 1 bis 4) nicht unter den Geltungsbereich der vorliegenden Richtlinie fällt, sollen die Umweltagenturen auf Wunsch der Regierung in diesen Prozess einbezogen werden.

Nachfolgend sind die einzelnen Haltepunkte des Endlagerentwicklungsprozesses unter Umweltschutzaspekten nach dem legitimierten stufenweisen Genehmigungsverfahren (“staged authorisation“) schematisch dargestellt (“disposal permitting process“). Parallel dazu sind die einzelnen Haltepunkte unter dem Gesichtspunkt der nuklearen Sicherheit aufgeführt, die einer Genehmigung durch die HSE (“nuclear site licensing process“) bedürfen.



**Abbildung 3.2-1:** Zusammenspiel von “staged authorisation“, “nuclear site licensing“ und “planning process“

Im “managing radioactive waste safely process“ beginnt der behördliche Genehmigungsprozess (“disposal permitting process“) für die Implementierung des Endlagers unter regulatorischer Aufsicht / Genehmigung der Umweltagenturen mit der Stufe 4 des Standortauswahlverfahrens.

Es ist geplant, zukünftig vor Beginn der Stufe 5 eine erste Teilgenehmigung (“environmental permit“) zu fordern.

Weitere Genehmigungen (“revised environmental permit“) werden vor der untertägigen Erkundung (Phase 1) und (Phase 2) gefordert. Diese werden jeweils nach Vorlage einer “preliminary environmental safety evaluation“ bzw. eines “initial environmental safety case“ vergeben. In Phase 1 der untertägigen Erkundung muss der Betreiber

primär qualitative Argumente - gestützt durch quantitative Ergebnisse aus verfügbaren Daten über den Standort - für die "preliminary environmental safety evaluation" liefern, die konsistent sind mit den Anforderungen dieser Richtlinie. In Phase 2 beginnen die eigentlichen untertägigen Arbeiten und die Auffahrungen zur Erforschung der geologischen Verhältnisse. Am Ende der Phase 2 wird auf der Basis eines "pre-operational environmental safety case" die Betriebsgenehmigung erteilt. Nach Einstellung des Einlagerungsbetriebes muss eine Genehmigung für den Verschluss des Endlagers erlangt werden.

Der Abschluss des Genehmigungsverfahrens wird nach Vorlage eines "final environmental safety case" nach Verschluss durch einen sogenannten "surrender of environmental permit" erreicht, der durch die Umweltagentur erteilt wird.

Parallel zu den Genehmigungen der Umweltagenturen muss der Antragsteller die erforderlichen Genehmigungen für die radiologische Sicherheit durch die HSE erteilt bekommen (s. "nuclear site licensing process", s. Abbildung 3.2-1). Die Genehmigungen werden in gegenseitiger Abstimmung der beiden verantwortlichen Behörden EA/NIEA und HSE vergeben. Eine wichtige Rolle im Endlagerentwicklungsprozess kommt zudem der Planungsbehörde zu. Nach dem Weißbuch der Regierung ist es vorgesehen, dass vom Antragsteller mehrere Genehmigungen ("planning decisions") von der Planungsbehörde einzuholen sind. An den entsprechenden Haltepunkten oder Entwicklungsphasen des Endlagers können die Umweltagenturen und die HSE die Planungsbehörde auf der Basis der Ergebnisse einer vom Antragsteller vorgelegten Umweltverträglichkeitsprüfung resp. eines "environmental safety case" beraten ("regulatory advice to planning authority"). Der gesamte Endlagerentwicklungsprozess soll in engem Dialog der beteiligten Akteure – Antragsteller, Regulator, Stakeholder – von statten gehen.

Im fortgesetzten "process by agreement", der zum Tragen kommt, wenn kein gestuftes Genehmigungsverfahren für die Phase 5 vor der Betriebsgenehmigung vorliegt, werden bis zur untertägigen Erkundung alle Entwicklungsstufen unter Beratung der Behörde nach freiwilliger Vorlage eines jeweils aktualisierten "environmental safety case" durch eigenen Beschluss und auf Verantwortung des Antragstellers durchlaufen. Vor Beginn der Einlagerung muss der Antragsteller eine Genehmigung unter RSA93 beantragen. Dazu muss er einen "environmental safety case" vorlegen, der der Ausführung des "pre-operational environmental safety case" im "staged authorisation" - Prozess entspricht. Danach wird das gleiche Prozedere durchlaufen wie beim oben geschilderten stufenweisen Genehmigungsverfahren.

## **“Environmental safety case“**

Der “environmental safety case“ ist Grundlage jeder (Teil-)Genehmigung.

Der “environmental safety case“ beinhaltet alle Argumente zur Demonstration der Umweltsicherheit des Endlagers. Kernpunkt des “environmental safety case“ ist die Beschreibung aller Aspekte, die die Umweltsicherheit beeinflussen, wie

- Geologie, Hydrologie, Abfallcharakteristika, Auslegung, Errichtung, Betrieb und Verschluss, nebst eingesetzter Techniken,
- Nachweis der Sicherheit durch weitere Indikatoren (“multiple lines of reasoning“) und Begründung in die Sicherheit / Vertrauen in die Sicherheit,
- quantitative Bewertung der Umweltsicherheit während des Zeitraums der behördlichen Überwachung und danach sowie
- die Darstellung des Antragstellers zu Qualität und Robustheit der quantitativen Sicherheitsbewertung unter Betrachtung der Unsicherheiten, die Qualität und Robustheit der anderen Argumente, zur Sicherheitskultur und zur Sachkenntnis des Personals sowie zu den Kernpunkten des Managementsystems, wie Planung und Kontrolle, der Einsatz von W&T und guter Ingenieurspraxis, Dokumentation, Qualitätsmanagement und Peer-Review.

Zur Sicherheitsstrategie gehört die Darlegung, welchen Beitrag jeweils der gewählte Standort, die - durch die Auslegung garantierte - passive Sicherheit und das Mehrbarrierensystem zur Umweltsicherheit leisten.

Zu Beginn jeder Genehmigungsstufe muss ein aktualisierter “environmental safety case“ vorgelegt werden, in dem das zunehmende Verständnis und der Erkenntniszuwachs zum Standort und das Endlagersystem dargestellt wird. Zu berücksichtigen sind auch der Rückfluss seitens des Regulators und Erkenntnisse aus anderen kerntechnischen Anlagen auf nationaler und internationaler Ebene. Zusätzlich sollten folgende Aspekte besondere Beachtung finden:

- Multibarrierensystem bzw. multiple Sicherheitsfunktionen
- Heranziehen weiterer Indikatoren und Naturbeobachtungen (Mehrfachbeweissführung)
- Umgang mit Unsicherheiten

- Modellstudien zur Erhöhung des Vertrauens in das Endlagersystem
- Einsatz von Expertenmeinung
- Kritikalitätssicherheit
- Klimaveränderungen
- Unbeabsichtigtes menschliches Eindringen
- Optimierung
- Umweltradioaktivität (Auswirkungen auf nicht menschliche Lebewesen oder deren Lebensraum)

### **3.2.6 Sicherheits- und Qualitätsmanagement**

Durch das *Requirement R4: Environmental safety culture and management system* wird der Antragsteller verpflichtet, die Sicherheitskultur ständig zu verbessern und zu allen Zeiten der Endlagerentwicklung ein Managementsystem, eine Organisationsstruktur und die notwendigen Mittel zur Verfügung zu haben, insbesondere für

- a) Planung und Überwachung aller Arbeiten,
- b) Anwendung von Techniken, die auf fundierten wissenschaftlichen Grundlagen und guter Ingenieurspraxis basieren,
- c) Bereitstellung von Informationen,
- d) Dokumentation und Führung von Aufzeichnungen und
- e) Qualitätsmanagement.

Im Rahmen des Managementsystems hat der Antragsteller eine Organisationsstruktur mit einer klaren Aufteilung der Aufgaben und Verantwortlichkeiten zu erstellen. Dies erfordert eine hohe Führungsqualität und ein großes Vertrauen in die Organisation. Das Managementsystem sollte es ermöglichen, die Mittel und die Kompetenzen zu entwickeln und zu erhalten, die benötigt werden, um die Sicherheit dauerhaft zu gewährleisten.

Maßnahmen zur Qualitätssicherung müssen einer ständigen internen und externen Kontrolle unterliegen. Der Zugang zu den Quelldaten muss jederzeit möglich sein. Insbesondere die technischen Arbeiten sind gegebenenfalls einem "peer review" zu unterziehen.

Es wird eine vollständige und detaillierte Dokumentation gefordert, die auch langfristig zur Verfügung steht. Die Aufzeichnungen sollten alle Entscheidungen und die Gründe dafür, Daten und Ergebnisse der Standortuntersuchung, Auslegungsunterlagen, Baupläne und technische Details der Errichtung, Abfallcharakteristika, Einlagerungsorte der Abfälle im Endlager, Betriebs- und Verschlussunterlagen sowie die Ergebnisse des Monitoring und eine Bewertung der einzelnen Schritte des Projektes beinhalten. Die Aufzeichnungen sind in doppelter Ausführung an verschiedenen Orten in beständiger Form aufzubewahren und sollten nach der "period of authorisation" in öffentliche Archive verbracht werden.

Zur Stützung des "environmental safety case" muss der Antragsteller alle erforderlichen Informationen in verständlicher nachvollziehbarer Form zur Verfügung stellen, die die Genehmigungsbehörde in die Lage versetzen, ein wachsendes Verständnis der Performance des Endlagersystems und der Robustheit des "environmental safety case" zu entwickeln. Wenn keine sicherheitsrelevanten nationalen Interessen dem entgegenstehen, sollen die Informationen auch der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

## 4 Japan

Für Japan wurden folgende Regularien ausgewertet /NSC 04/, NSC 07/:

**Basic Policy for Safety Regulations Concerning Land Disposal of Low-Level Radioactive Waste (Interim Report), Appendix, Nuclear Safety Commission of Japan, Special Committee on Radioactive Waste and Decommissioning, July, 2007**

[http://www.nsc.go.jp/NSCenglish/topics/radioactive\\_waste/20070712\\_e.pdf](http://www.nsc.go.jp/NSCenglish/topics/radioactive_waste/20070712_e.pdf)

**Commonly Important Issues for the Safety Regulations of Radioactive Waste Disposal, Unofficial Translation v2 (050727), Nuclear Safety Commission of Japan, June 10, 2004**

<http://www.nsc.go.jp/haiki/page3/050728.pdf>

Weitere Regularien liegen zum großen Teil nur in japanischer Sprache vor.

### 4.1 Rahmenbedingungen

#### **Gesetzlicher Rahmen und regulatorische Struktur**

Die nachfolgenden Gesetze bilden den Rahmen für die Endlagerung von HLW in Japan:

- The Specific Radioactive Waste Final Disposal Act (the Act) (2000, Law No. 177), überarbeitet Juni 2007a /JCV 08/
- The Atomic Energy Basic Law (The Basic Law): Basic Policy (peaceful uses, safety assurance, democratic management, autonomous activities, publication of results)
- The Law for the Regulation of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors (Reactor Regulation Law) (June 10, 1957, Act No. 166), überarbeitet 2007: Ensures the peaceful and safe uses of nuclear source materials, nuclear fuels and nuclear reactors

- The Law Concerning Prevention from Radiation Hazards due to Radioisotopes, etc. (Radiation Hazards Prevention Law): Regulation of radio-isotopes and radiation-generating apparatuses /NEA 06/

Insbesondere zum “Law for the Regulation of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors (Reactor Regulation Law)” gibt es, für das gesamte Spektrum der in Japan anfallenden radioaktiven Abfälle, Verordnungen und Regeln, z. B. für HLW, “Rules for category 1 waste disposal for nuclear fuel material or those which are contaminated with (April 1, 2008)” /JCV 08/.

Schlüsselorganisationen für Festlegungen zur nuklearen Sicherheit in Japan sind:

- Nuclear Safety Commission (NSC) in Cabinet Office (CAO):
  - Festlegung strategischer Prinzipien hinsichtlich kerntechnischer Sicherheit
  - Einführung von Sicherheitsstandards
  - Überprüfung von Sicherheitsbewertungen von Genehmigungsbehörden (“double check”)
- Ministry of Economy, Trade and Industry (METI):
  - Zuständig für den Umgang mit radioaktiven Material zur Energiegewinnung
- Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT):
  - Zuständig für den wissenschaftlichen Umgang mit radioaktivem Material
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT):
  - Zuständig für den Seetransport radioaktiven Materials

### **Stand der Endlagerung**

Japan besitzt noch kein Endlager. Das Entsorgungskonzept sieht seit April 2008 bei der Endlagerung eine Unterteilung in 2 Kategorien vor.

Bei der Kategorie 1 handelt es sich um Endlager in tiefen geologischen Formationen für **high-level radioactive waste (HLW)** in einer Tiefe von mindestens 300 m.

Bei der Kategorie 2 handelt es sich um Anlagen für die Endlagerung aller anderen Arten von radioaktiven Abfällen, **low-level radioactive waste (LLW)**. Vorgesehen sind

hierfür Oberflächendeponien (Gräben), oberflächennahe Deponien sowie Endlager in einer Tiefe zwischen 60 m und 100 m. Überwiegend handelt es sich dabei um die radioaktiven Stoffe, die ursprünglich beim Betrieb der Kernkraftwerke angefallen sind.

Für die Endlagerung von LLW und die Lagerung von HLW ist die **Japan Nuclear Fuel Ltd. (JNFL)** und für die Endlagerung von HLW gemäß dem "Final Disposal Act" die **Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)** zuständig /NEA 06/, /JCV 08/.

In Japan ist es erklärtes Ziel, den Betrieb eines Endlagers für HLW etwa im Jahre 2030 aufzunehmen /IAE 02/. Die Festlegung auf ein bestimmtes Wirtsgestein für ein HLW-Endlager ist noch nicht erfolgt.

### **Standortauswahlprozess**

Das Verfahren zur Standortfindung ist im „Specific Radioactive Waste Final Disposal Act (Final Disposal Act)“ festgelegt. NUMO fördert und unterstützt die einzelnen Schritte des 3-stufigen Standortauswahlverfahrens. Diese sind:

1. Auswahl von Regionen, die für vorläufige Untersuchungen infrage kommen.
2. Auswahl von Regionen, die für detaillierte Untersuchungen infrage kommen.
3. Auswahl eines Standortes zur Errichtung eines Endlagers.

Zur Durchführung jedes einzelnen der 3 Verfahrensschritte muss sich NUMO beim Minister des METI die Genehmigung einholen.

Falls der Minister (METI) die Genehmigung zum nächsten Verfahrensschritt erteilt und das Ergebnis der Untersuchungen in NUMO's Endlagerplanung aufgenommen wird, soll der Minister die leitenden Verwaltungsbeamten der infrage kommenden Regionen und der infrage kommenden Standorte befragen und ihre Auffassung berücksichtigen /JCV 08/.

### **Übergeordnete Festlegungen zur Rückholbarkeit**

Die NSC hat festgelegt, dass die Möglichkeit der Rückholbarkeit so lange aufrechtzuhalten ist, bis eine Sicherheitsanalyse auf der Basis von Daten aus der Errichtungs-

und Betriebsphase durchgeführt wurde, die nachweist, dass ein sicherer Verschluss des Endlagers gewährleistet ist /IAE 02/.

### **Rechtliche Stellung der Sicherheitsanforderungen**

Die “Commonly Important Issues for the Safety Regulations of Radioactive Waste Disposal, June 10, 2004” /NSC 04/ und die “Basic Policy for Safety Regulations Concerning Land Disposal of Low-Level Radioactive Waste (Interim Report), Appendix”, Nuclear Safety Commission of Japan, Special Committee on Radioactive Waste and Decommissioning, July, 2007 /NSC 07/ wurden von der Nuclear Safety Commission of Japan (NSC) herausgegeben. Eine regulatorische Verbindlichkeit ist bei beiden Papieren nicht gegeben.

Die NSC wurde nach Überarbeitung des “Atomic Energy Basic Law“ 1978 gegründet und dem Büro des Premierministers zugeordnet. Sie hat von der Atomic Energy Commission (AEC) die regulatorische Funktion übernommen. Im Rahmen der zentralen Regierungsreform von 2001 wurden sowohl die AEC als auch die NSC dem Kabinettsbüro (Cabinet Office) unterstellt /JCV 08/.

Die AEC trifft Grundsatzentscheidungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, auf deren Basis die NSC über die Grundkonzeption der Sicherheitsbestimmungen zur geologischen Endlagerung, die Höhe der Aktivitätskonzentration bei der Endlagerung radioaktiver Stoffe und über Methoden zur Sicherheitsbewertung der Anlagen des Endlagers entscheidet. Die daraus abgeleiteten relevanten Regeln werden dann von den Ministerien METI und MEXT veröffentlicht /NEA 06/.

Derzeit sind für Japan noch keine aktuelleren regulatorischen Anforderungen an die geologische Endlagerung von HLW in englischer Sprache verfügbar. Es wird aber davon ausgegangen, dass gegebenenfalls ein Teil der im vorliegenden Appendix, Interim Report “Basic Policy for Safety Regulations Concerning Land Disposal of Low-Level Radioactive Waste“, der NSC /NSC 07/ formulierten Aussagen vom Juli 2007 für LLW, in künftige Anforderungen an HLW eingehen wird. Dieser Appendix (Interim Report) beinhaltet vornehmlich die Erörterung eines risikoorientierten Ansatzes zur Bewertung der Langzeitsicherheit eines Endlagers für LLW (“intermediate depth disposal“ (Endlagerung in einigen 10 Metern Tiefe)). In “Commonly Important Issues for the Safety Regulations of Radioactive Waste Disposal“ hat die NSC 2004 einige Sicherheitsaspekte zur Entsorgung resp. Endlagerung aller Arten radioaktiver Abfälle – insbesonde-

re bezogen auf die Langzeitsicherheit in der Zeit nach der aktiven Kontrolle - erörtert /NSC 04/.

/NSC 04/ und /NSC 07/ enthalten außer einigen Aspekten zur Bewertung der Sicherheit – insbesondere der Langzeitsicherheit in der Zeit nach der aktiven Kontrolle - keine konkret ausformulierten Anforderungen an die geologische Endlagerung von HLW im regulatorischen Sinne. Im Nachfolgenden werden auch solche Aussagen, die als Absichtserklärung oder Kommentar, aber explizit nicht als Anforderungen formuliert wurden, für die Auswertung berücksichtigt. In /NSC 04/ werden u. a. allgemeine Sicherheitsaspekte der Endlagerung aufgezeigt und ein Überblick über internationale und nationale Strahlenschutzstandards zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern gegeben. /NSC 07/ beinhaltet ausschließlich eine auf der Basis eines risikoorientierten ("risk-informed approach") Bewertungsansatzes geführten Diskussion zur Langzeitsicherheit eines Endlagers für LLW ("intermediate depth disposal").

## **Genehmigung**

Im "Act of the Regulation of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors (Reactor Regulation Law) (June 10, 1957, Act No. 166)" überarbeitet 2007, sind z. B. im Kapitel 5-2, Artikel 51-2 bis 51-26 Regelungen im Bezug auf Tätigkeiten bei der Endlagerung oder Lagerung radioaktiver Stoffe festgelegt.

Für die Genehmigung ist das METI zuständig. Es sind u. a. Festlegungen für die Genehmigung von Tätigkeiten bei der Endlagerung und der Lagerung radioaktiver Abfälle angegeben. Weiterhin werden die Bedingungen und Anforderungen beschrieben, unter welchen die Genehmigung beantragt werden kann bzw. wie sich Änderungen beim Genehmigungsinhaber auf eine bereits erteilte Genehmigung auswirken. Die Kriterien für die Genehmigung zu Planung, Bau, Überprüfung, Betrieb und Stilllegung eines geologischen Endlagers sowie Maßnahmen, die mit der Änderung der Genehmigungsvoraussetzungen im Zusammenhang stehen, sind angegeben /RRL 07/.

## **4.2 Anforderungen**

### **4.2.1 Schutzziele und Schutzkriterien für Betriebs- und Nachbetriebsphase**

#### **Schutz des Menschen**

Nach /NSC 04/ ist sicherzustellen, dass die Schutzkriterien für die Gesundheit künftiger Generationen keine höheren Belastungen zulassen dürfen als sie für die heutige Generation zugelassen sind. Dies impliziert, dass an anderer Stelle konkrete Schutzziele für den Menschen formuliert wurden.

#### **Schutz der Umwelt**

Nach /NSC 04/ ist in der Szenarienanalyse für die Zeit nach der aktiven Kontrolle eine Schadensprävention für Mensch und die „lebende“ Umwelt vorzusehen. Dies impliziert, dass an anderer Stelle konkrete Schutzziele für die Umwelt formuliert wurden/werden.

#### **Äquivalenter Schutz künftiger Generationen**

Nach /NSC 04/ ist sicherzustellen, dass die Schutzkriterien für die Gesundheit künftiger Generationen keine höheren Belastungen zulassen dürfen als sie für die heutige Generation zugelassen sind.

#### **Passive Sicherheit, Nachsorgefreiheit**

In /NSC 04/ wird bezüglich des LLW davon ausgegangen, dass nach Ablauf der aktiven Kontrolle aufgrund des Zerfalls der in den Abfällen enthaltenen radioaktiven Stoffe keine weiteren Schutzmaßnahmen nötig sind. Dies gilt nach /NSC 04/ aber ausdrücklich nicht für HLW.

Ein **“defense in depth“-Prinzip** wird in /NSC 04/ im Zusammenhang mit dem Mehrbarrierenkonzept hinsichtlich der Sicherheitsfunktionen der einzelnen Barrieren unterstellt.

**Rückholbarkeit** wird in keinem der beiden Dokumente thematisiert.

Bezüglich der Vermeidung von unzumutbaren Lasten und Verpflichtungen künftiger Generationen (“undue burden“) werden die “Safety Fundamentals“ der International Atomic Energy Agency (IAEA) /IAE 95/ in /NSC 04/ in der Einleitung zitiert.

Die **Optimierung** wird in /NSC 04/ im Zusammenhang mit den Empfehlungen der ICRP 81 herangezogen und bei der Darlegung der schwedischen Endlageranforderungen und des dort geforderten Einsatzes von BAT “best available techniques“. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass dieser Optimierungsgedanke auch in Japan zugrunde gelegt wird.

#### **4.2.1.1 Schutzkriterien für die Betriebsphase**

Schutzkriterien für die Betriebsphase werden in beiden Dokumenten nicht explizit ausgewiesen.

#### **4.2.1.2 Schutzkriterien für die Phase nach Verschluss**

Nach /NSC 04/ wird für LLW als Bewertungsgröße für die potenzielle Strahlenexposition der Bevölkerung bei oberflächennahen Endlagern für die Zeit nach der aktiven Kontrolle eine Dosis als Grenzwert herangezogen. Diese darf für wahrscheinliche Szenarien (Normalentwicklung) **10 µSv pro Jahr** nicht überschreiten. Im Falle weniger wahrscheinlicher Szenarien soll dieser Wert „nicht signifikant überschritten“ werden.

In /NSC 07/ wird für den Nachweis der Langzeitsicherheit ein risikoorientierter Ansatz erörtert. Die Randbedingungen für die Szenarientwicklung insbesondere für langlebigen LLW werden diskutiert. Es wird eine Klassifizierung der Szenarien in drei Typen vorgeschlagen: wahrscheinliche, weniger wahrscheinliche und natürliche Ereignisse mit extrem niedriger Wahrscheinlichkeit oder unbeabsichtigtes menschliches Eindringen. Folgende Bewertungsgrößen werden betrachtet: **10 µSv pro Jahr für wahrscheinliche, 300 µSv pro Jahr für weniger wahrscheinliche und 10 bis 100 mSv pro Jahr im Falle natürlicher Ereignisse mit extrem niedriger Wahrscheinlichkeit oder unbeabsichtigten menschlichen Eindringens** als Interventionswerte.

Seitens der NSC wird es als notwendig erachtet, die Festlegung und die Randbedingungen des Bewertungszeitraums im Hinblick auf künftige Sicherheitsanforderungen zu untersuchen, vor allem was langlebige Radionuklide und HLW betrifft. Als Bewer-

tungsgrößen für die Gewährleistung des langfristigen Schutzes können zudem - wie in Finnland - komplementäre Sicherheitsindikatoren herangezogen werden /NSC 04/.

#### **4.2.2 Anforderungen an Bau (oder Auslegung), Betrieb, Verschluss**

##### **4.2.2.1 Auslegungsgrundsätze**

Konkrete Anforderungen zu Auslegungsgrundsätzen werden in beiden Dokumenten explizit nicht formuliert. Im Rahmen der Diskussion der Langzeitsicherheit werden in /NSC 07/ und /NSC 04/ lediglich Hinweise auf globale Auslegungsgrundsätze gegeben, wie z. B.:

- die Robustheit des Endlagersystems,
- die Bandbreite der Sicherheit bei der Auslegung des Endlagers,
- das Multibarrierensystem,
- adäquate Teufe des Endlagers zur Reduzierung der Wahrscheinlichkeit unbeabsichtigten menschlichen Eindringens,
- ingenieurtechnische und administrative Maßnahmen zur Minimierung der Möglichkeit und der Auswirkungen unbeabsichtigten menschlichen Eindringens.

##### **4.2.2.2 Anforderungen an Endlagerbetrieb und -verschluss**

Der Antragsteller sollte für die Erlangung der Betriebsgenehmigung das Multibarrierensystem und seine Funktion so genau wie möglich beschreiben /NSC 07/. Während des Betriebs sollten zukünftig auch in Japan analog der internationalen Vorgehensweise periodisch Sicherheitsprüfungen vorgenommen werden.

#### **4.2.3 Anforderungen an die Langzeitsicherheit**

Ein **Mehrbarrierensystem** bestehend aus einer Kombination physikalisch und funktionell sich ergänzender Barrieren mit multiplen Sicherheitsfunktionen wird unter Zugrundelegung des "defense in depth" – Prinzips indirekt gefordert. Dies impliziert gleichzeitig Redundanz / Diversität im Hinblick auf die Sicherheitsfunktionen. Bei Verlust der

Schutzwirkung einer Barriere wird diese durch die Wirkung einer anderen Barriere ersetzt /NSC 04/. In den Langzeitsicherheitsanalysen muss die Leistungsfähigkeit des Multibarrierensystems zu verschiedenen Zeiten überprüft werden /NSC 07/.

- **Passive Sicherheit** wird indirekt gefordert. In /NSC 04/ wird darauf verwiesen, dass eine quantitative Bewertung der Robustheit des Multibarrierensystems maßgeblich ist bei der Charakterisierung der breitangelegten Sicherheitsreserven. In /NSC 07/ wird gemäß /NSC 01/ passive Sicherheit dadurch impliziert, dass in der Periode nach der aktiven Kontrolle die potenzielle Strahlenexposition der Bevölkerung so niedrig ist, dass aus Strahlenschutzgründen keine weitere Kontrolle mehr erforderlich ist.

**Institutionelle Anforderungen** an die Phase nach Verschluss werden nicht thematisiert.

Hinsichtlich des **unbeabsichtigten menschlichen Eindringens** ist nach /NSC 04/ oberste Priorität die Verminderung der Möglichkeit des Eindringens, z. B. durch die Tiefenlage des Endlagers oder durch Maßnahmen, die auf die Existenz des radioaktiven Abfalls aufmerksam machen. Da eine wissenschaftlich begründete Vorhersage oder Abschätzung des unbeabsichtigten menschlichen Eindringens angesichts der Unmöglichkeit der Prognose menschlichen Verhaltens und des Lebensstil in ferner Zukunft nicht möglich ist, wird in Anlehnung an ICRP /ICR 99/ das unbeabsichtigte menschliche Eindringen neben den wahrscheinlichen und den weniger wahrscheinlichen Szenarien als ein eigenständiges stilisiertes Szenarium betrachtet, das in der Bewertung der Konsequenzenanalyse einem seltenem natürlichen Ereignis gleichzusetzen ist. Interventionen sind vorzusehen, wenn die ermittelten potenziellen Konsequenzen zu Expositionen von 10 mSv bis 100 mSv pro Jahr führen.

#### **4.2.4 Rückholbarkeit**

Rückholbarkeit wird nicht thematisiert.

#### **4.2.5 Optimierung / “Stepwise approach“**

Gemäß den Forderungen des “Specified Radioactive Waste Disposal Act“ aus dem Jahr 2000 ist in Japan ein stufenweiser Endlagerentwicklungsprozess mit Haltepunkten vorgesehen. Es wird unterstellt, dass die Implementierung eines geologischen Endla-

gers in Japan einem “stepwise approach“ unter Beachtung der steten Verbesserung (Optimierung) unterliegt. Der Antragsteller soll verpflichtet werden, während der Zeit der aktiven Kontrolle in regelmäßigen Abständen komplette Sicherheitsüberprüfungen zur Bestätigung der Funktionstüchtigkeit des Sicherheitssystems vorzulegen.

#### **4.2.6 Sicherheits- und Qualitätsmanagement**

Zum Sicherheits- und Qualitätsmanagement werden in beiden Dokumenten keine konkreten Festlegungen getroffen.

## 5 Kanada

Für Kanada wurde folgende Leitlinie ausgewertet /CNS 06a/:

### **Regulatory Guide G-320 „Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management“, December 2006**

[http://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs\\_catalogue/uploads/G-320\\_Final\\_e.pdf](http://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/G-320_Final_e.pdf)

#### 5.1 Rahmenbedingungen

##### **Gesetzlicher Rahmen und regulatorische Struktur**

In Bezug auf die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle einschließlich bestrahlter Brennelemente (BBE) sind die folgenden grundlegenden Gesetze aufzuführen:

**Tab. 5.1-1** Gesetzliches Regelwerk für HLW in Kanada

<b>Gesetz</b>	<b>Bezug</b>
Nuclear Energy Act	Entwicklung und Nutzen der Kernenergie
Nuclear Safety and Control Act (NSCA)	Sicherheit im Umgang mit der Kernenergie
Nuclear Fuel Waste Act	Langzeitmanagement von BBE
Canadian Environmental Assessment Act (CEA Act)	Vorgaben zur Umweltverträglichkeitsprüfung, Safety Case, Beteiligung der Öffentlichkeit im Genehmigungsverfahren

Die Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) / (“Commission canadienne de sûreté nucléaire”) (CNSN) als zentrale oberste Regulierungs- und Überwachungsbehörde im Nuklearbereich ist gemäß dem Gesetz “Nuclear Safety and Control Act (NSCA)” für die Schaffung des untergesetzlichen Regelwerks zuständig /GOV 08/.

Das untergesetzliche Regelwerk ist hierarchisch aufgebaut. Es besteht aus Rechtsvorschriften (“Regulations“), behördlichen Grundsatzserklärungen (“Regulatory Policies“: philosophische Grundlagen / Ansätze, Prinzipien und fundamentale Anforderungen), Standards (“Regulatory Standards“: Auflistung der CNSC-Anforderungen) und Leitlinien (“Regulatory Guides“: Leitfaden zur Erfüllung der CNSC-Anforderungen).

Hinsichtlich des Langzeitmanagement von BBE sind folgende untergesetzlichen Regelwerke relevant:

**Tab. 5.1-2** Untergesetzliches Regelwerk für HLW in Kanada

<b>Untergesetzliches Regelwerk</b>	<b>Bezug</b>
<b>Regulation</b>	
General Nuclear Safety and Control Regulations (GNSCR)	Allgemeine Genehmigungsvoraussetzungen und Antragsinhalte
Radiation Protection Regulations (RPR)	Regelungen zum Strahlenschutz, u. a. Anwendung des ALARA-Prinzips
Class I Nuclear Facilities Regulations /CNS 00/	Genehmigungsgrundlagen für die verschiedenen Phasen eines Endlagers (Standort, Errichtung, Betrieb, Verschluss)
<b>Regulatory Policy</b>	
Regulatory Policy Statement R-71 "Deep geological disposal of nuclear fuel waste: Background information and regulatory requirements regarding the concept assessment phase", /AEC 85/	Grundsätze zur Abfallpolitik
Regulatory Policy P-290 "Managing Radioactive Waste", 2004 /CNS 04a/	Grundsätze des Abfallmanagements
<b>Regulatory Standard</b>	
Regulatory Standard S-224 (Entwurf) "Environmental Monitoring Program at Class I Nuclear Facilities and Uranium Mines and Mills" /CNS 04c/	Umweltmessprogramm
Regulatory Standard S-296 "Environmental Protection Policies, Programs and Procedures at Class I Nuclear Facilities and Uranium Mines and Mills" /CNS 06b/	Umweltmanagementsystem
<b>Regulatory Guide</b>	
Regulatory Guide G-320 "Assessing the Long-Term Safety of Radioactive Waste Management", 2006 /CNS 06a/	Vorgaben zur Sicherheitsbewertung bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle
Regulatory Guide R-72 "Geological considerations in siting a repository for underground disposal of high-level radioactive waste" /AEC 87/	Anforderungen an den Standort
Guide INFO-0774 "Environmental Assessment Screening Process", 2009 /CNS 09/	Anforderungen zur Durchführung des "Environmental Impact Statement (EIS)" für geologische Endlager
Regulatory Guide G-129, Revision1 "Keeping Radiation Exposures and Doses "As Low as Reasonably Achievable (ALARA)", October 2004 /CNS 04b/	Umsetzung ALARA-Prinzip

Die Abfallkategorie "High-level Radioactive Waste" umfasst bestrahlte Brennelemente ("used" / "irradiated nuclear fuel") sowie radioaktive Abfälle, die eine signifikante Wär-

meentwicklung aufweisen. Bestrahlte Brennelemente werden nicht als „verbraucht“ („spent“) bezeichnet /GOV 08, NEA 08/.

Entsprechend dem Regelwerk “General Nuclear Safety and Control Regulations“ werden Anlagen zum nuklearen Abfallmanagement, wie z. B. Endlager für radioaktive Abfälle, als “Class I Nuclear Facilities“ eingestuft /GOV 08/. Spezifiziert wird diese Definition in “Class I Nuclear Facilities Regulations“ /CNS 00/ in der Art, dass ein Endlager als “Class IB Nuclear Facility“ bezeichnet wird.

Gemäß /GOV 08/ setzen diese Regelwerke die Empfehlungen der IAEA um. Insgesamt beziehen sich die Sicherheitsanforderungen auf die Themen Kritikalität, Strahlenschutz, Sicherung einschließlich Kernmaterialkontrolle (“Safeguards“) und auf die Arbeitssicherheit.

### **Stand der Endlagerung**

Die bevorzugte Option zur Entsorgung der hochradioaktiven Abfälle einschließlich der bestrahlten Brennelemente (BBE) ist die Endlagerung in geologischer Formation. Als Zwischenschritt zur Endlagerung wird eine zentrale Zwischenlagerung der BBE am künftigen Endlagerstandort betrachtet.

Alternativ werden jedoch auch andere Technologien hinsichtlich des Langzeitmanagements von BBE, wie die Wiederaufarbeitung und die Transmutation, verfolgt. Die endgültige Entscheidung, wie mit den BBE letztendlich zu verfahren ist, wird den künftigen Generationen überlassen /GOV 08/.

Die Endlagerung in geologischer Formation soll an einem Standort mit kristallinem Gestein vorgenommen werden.

Derzeit gibt es in Kanada kein Endlager für BBE - einschließlich hochradioaktiver Abfälle -, weder in der Planungs- noch in der Errichtungs- oder Betriebsphase.

Die von den Abfallverursachern 2002 gegründete zentrale Abfallorganisation “Nuclear Waste Management Organization (NWMO)“ hatte die Aufgabe, eine Vorgehensweise zur langfristigen Entsorgung der BBE unter Berücksichtigung von sozioökonomischen Aspekten zu entwickeln. In Erfüllung dieser Aufgabe hat NWMO verschiedene Entsorgungsoptionen betrachtet:

- Geologische Endlagerung im kanadischen Schild
- Dezentrale langfristige Lagerung im Bereich der Standorte
- Zentrale langfristige Lagerung oberhalb oder unterhalb der Erdoberfläche

und auf der Basis der Erkenntnisse aus dem Dialog dieser Optionen mit der Öffentlichkeit das so genannte “Adaptive Phased Management (APM)” abgeleitet. Das APM verbindet die technischen Aspekte der drei genannten Optionen und sieht die Einbindung der Öffentlichkeit in den Verfahrensablauf und bei den verschiedenen Entscheidungsschritten vor. Die Grundstruktur des APM sieht drei Phasen vor:

- Phase 1:  
Standortauswahlverfahren unter Berücksichtigung umfangreicher öffentlicher Konsultationen, auf der Basis einer freiwilligen Beteiligung von Gemeinden, Berücksichtigung von Alternativen sowie erster technischer Standortuntersuchungen. Die Phase 1 wird durch den Antrag und Genehmigung für die untertägige Untersuchung eines Standortes abgeschlossen. Die Dauer der ersten Phase wird mit etwa 30 Jahren angegeben. In dieser Phase kann es erforderlich werden, ein zentrales Zwischenlager für bestrahlten Brennstoff zu errichten.
- Phase 2:  
Phase 2 beginnt mit abschließenden untertägigen Standorterkundungs- und Eignungsuntersuchungen und führt zur Festlegung des Endlagerstandortes sowie zur Planung, Beantragung, Genehmigung und Errichtung des Endlagers. Die Zeitdauer für Phase 2 wird mit etwa 30 Jahren kalkuliert.
- Phase 3:  
Die dritte Phase beginnt mit der Inbetriebnahme des Endlagers und umfasst die Einlagerung des gesamten bestrahlten Kernbrennstoffs mit einer sich anschließenden Monitoring- und Offenhaltungsphase des Endlagers. Die letzte Phase endet voraussichtlich nach etwa 60 Jahren mit der Entscheidung über die weitere Vorgehensweise.

Im Juni 2007 wurde das “Adaptive Phased Management (APM)“, durch die Regierung bestätigt /GRS 08, GOV 08/.

## **Standortauswahlprozess**

Im Rahmen des akzeptierten APM findet derzeit durch NWMO die Vorbereitung für das Standortauswahlverfahren für ein geologisches Endlager für BBE statt. Es wurde festgelegt, dass sich die Endlagerstandortsuche nur auf Regionen beziehen wird, in denen die Kernenergie genutzt wird /GRS 08/. Dieses betrifft die Provinzen New Brunswick, Québec, Ontario und Saskatchewan. Andere Regionen werden berücksichtigt, sofern bei diesen Regionen das ausdrückliche Interesse an der Errichtung eines Endlagers bekundet wird /NWM 09a/.

Ende 2009 soll die Diskussion mit der Öffentlichkeit zur Gestaltung des Standortauswahlverfahrens beendet sein. Anschließend ist geplant, das Verfahren konkret festzulegen, damit Ende 2012 die technische und sozioökonomische Prüfung potenzieller Standorte beginnen kann. Es werden nur solche Standorte bewertet, bei denen eine ausdrückliche Zustimmung der betroffenen Kommune(n) vorliegt /NWM 09a/.

Um den sicheren Betrieb eines Endlagers gewährleisten zu können ist vorgegeben, dass im Rahmen des Standortauswahlprozesses am künftigen Endlagerstandort vor dem Bau des eigentlichen Endlagers eine untertägige Demonstrationsanlage zu errichten und in Betrieb zu nehmen ist, um damit die Sicherheit des geplanten Endlagers nachweisen zu können /NWM 09b/. Die Durchführung des APM wird konkret in Fünf-Jahres-Schritten geplant. Hinsichtlich des erreichten Fortschritts werden entsprechende Jahresberichte veröffentlicht /NWM 09a/.

## **Übergeordnete Festlegungen zur Rückholbarkeit**

NWMO empfiehlt in ihrem von der kanadischen Regierung bestätigten APM, die potenzielle Rückholung für einen ausgedehnten Zeitraum sicherzustellen bis die künftige Gesellschaft den Beschluss fasst, das Endlager zu verschließen und eine adäquate Art und Dauer der Überwachung festlegt /NWM 05, NWM 07/.

## **Rechtliche Stellung der Sicherheitsanforderungen**

Wie die Sicherheitsanforderungen, die im Rahmen der Entsorgung radioaktiver Abfälle - d. h. auch bezüglich der geologischen Endlagerung - an die Langzeitsicherheit gestellt werden, zu erfüllen bzw. umzusetzen sind, wird in der Leitlinie G-320 "Assessing the Long-Term Safety of Radioactive Waste Management" /CNS 06a/ geregelt.

## **Genehmigungsverfahren**

Die Genehmigungs(- und Aufsichts)behörde für ein Endlager, d. h. für eine als "Class I Nuclear Facilities" eingestufte kerntechnische Anlage, ist die CNS /GRS 08/.

Im Regelwerk "Class I Nuclear Facilities Regulations" /CNS 00/ sind die Voraussetzungen für die Genehmigung eines Endlagers detailliert aufgeführt. Für jede Phase des Endlagers (Standortauswahl, Errichtung, Betrieb, Verschluss) ist eine separate Genehmigung erforderlich.

U. a. ist bei der Beantragung der Standortgenehmigung eine Beschreibung der möglichen Einflüsse auf Umwelt, Gesundheit und Sicherheit von Personen vorzulegen. Bei der Errichtungsgenehmigung ist der vorläufige Sicherheitsbericht ("preliminary safety analysis report") und zur Betriebsgenehmigung der endgültige Sicherheitsbericht ("final safety analysis report") vorzulegen /CNS 00/. Hinsichtlich der Demonstration der Langzeitsicherheit wird in der Leitlinie Guide G-320 /CNS 06a/ auf den "safety case" verwiesen. Diese Genehmigungen sind zeitlich begrenzt gültig /GOV 08/.

Im Rahmen des Genehmigungsantrages sind neben der Erfüllung der Anforderungen der "NSCA-Regulations" auch die Erfüllung der Anforderungen von Regelwerken anderer Zuständigkeiten - z. B. resultierend aus dem "Canadian Environmental Assessment Act" - darzustellen.

Das Genehmigungsverfahren für ein Endlager ist in der Art geregelt, dass zuerst die Umweltverträglichkeitsaussagen geprüft werden. Erst nach Akzeptanz dieser Angaben erfolgen weitere Genehmigungsschritte durch CNS in Verbindung mit weiteren verantwortlichen Behörden /GOV 08/.

## **5.2 Anforderungen**

### **5.2.1 Schutzziele und Schutzkriterien für Betriebs- und Nachbetriebsphase**

#### **Schutzziele**

Die Leitlinie G-320 beinhaltet primär nur Anforderungen zur Bewertung der Langzeitsicherheit. Generell hat der Umgang mit radioaktiven Abfällen sowie die dazugehörige

Kontrolle übereinstimmend mit nationalen und internationalen Standards und Praktiken zu erfolgen /CNS 04a, CNS 06a/. Diese Vorgabe kann mit der Umsetzung des Standes von Wissenschaft und Technik gleichgesetzt werden. Der Umgang mit radioaktiven Abfällen hat außerdem in der Art zu erfolgen, dass die Erfüllung von internationalen Vereinbarungen, die Kanada abgeschlossen hat, garantiert wird.

Um dieses zu erreichen, soll ein Endlager gemäß "best international practice" errichtet und betrieben werden.

Die übergeordneten Schutzziele umfassen nach /AEC 85/ die Einhaltung von Anforderungen zu den Gebieten

- Radiologische Gesundheit und Sicherheit,
- Konventionelle Gesundheit und Sicherheit,
- Umweltschutz,
- Kernmaterialkontrolle und Sicherung sowie
- Transport der radioaktiven Abfälle.

Um diesen Schutzzielen gerecht zu werden und sie auf Dauer einzuhalten, soll die Sicherheit des Endlagersystems insbesondere durch technische und natürliche Barrieren (Mehrbarrierensystem) gewährleistet werden. Das Endlagersystem als Ganzes soll langfristig

- die Isolierung und die Zurückhaltung der Radionuklide wie auch nicht-radioaktiver Bestandteile,
- die Begrenzung der Radionuklidfreisetzung und
- die Begrenzung der Möglichkeiten menschlichen Kontakts mit den radioaktiven Abfällen

bewirken /AEC 85, AEC 87, CNS 04a, CNS 06a, GOV 08, GRS 08/.

Dabei muss das Endlagersystem als Ganzes geeignet sein, Störungen aus der Umgebung des geologischen Endlagers sicher abfangen zu können. Hinsichtlich des geologischen Standortes sind dazu auch die Unsicherheiten, die sich auf die Vorhersage der Güte des Standortes beziehen, zu berücksichtigen.

Hinsichtlich des "defense in depth"-Prinzips wird ausgeführt, dass dieses durch eine robuste Auslegung des Mehrbarrierensystems des Endlagers erreicht werden kann.

Das Mehrbarrierensystem soll u. a. auch die passive Sicherheit und die Wartungsfreiheit nach Verschluss des Endlagers gewährleisten.

Durch die Auslegung des Endlagers als ein passives System sollen zudem mögliche Anforderungen an künftige Generationen minimiert werden.

Desweiteren dürfen die potenziellen Auswirkungen des Endlagers auf künftige Generationen nicht höher sein als jene, die heute zugelassen sind. Gleiches gilt für potenzielle Auswirkungen auf Gebiete außerhalb Kanadas. Diese Auswirkungen dürfen nicht größer sein als innerhalb der Landesgrenzen von Kanada.

Das Optimierungsgebot beim geologischen Endlager bezieht sich auf die Minimierung radiologischer Belastungen entsprechend dem ALARA-Prinzip. Bei der Einschätzung möglicher radiologischer Belastungen sind neben den möglichen Einflüssen auf den Menschen auch andere Formen des Lebens zu betrachten.

Der Nachweis der Einhaltung der Regelwerksvorgaben ist mittels eines robusten Sicherheitsberichtes ("safety case") vorzunehmen /CNS 06a, NWM 09b/.

#### **5.2.1.1 Schutzkriterien für die Betriebsphase**

Im Rahmen des Strahlenschutzes ist für Einzelpersonen der Öffentlichkeit (aus der kritischen Gruppe) der Grenzwert der Individualdosis von 1 mSv pro Jahr festgeschrieben worden /DJC 00/. Zur Minimierung von radiologischen Belastungen ist das ALARA-Prinzip anzuwenden. Bei der Anwendung des ALARA-Prinzips sind sowohl ökonomische, einschließlich finanzielle, als auch soziale Faktoren, wie z. B. die Sichtweise der Öffentlichkeit, zu berücksichtigen /DJC 00, CNS 04b/.

#### **5.2.1.2 Schutzkriterien für die Nachbetriebsphase**

Nach dem Verschluss eines geologischen Endlagers muss gewährleistet werden, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Auftreten von effektiven Dosen für die Bevölke-

rung resultierend aus der Endlagerung nur einen kleinen Anteil derjenigen effektiven Dosen betragen darf, die dem natürlichen Untergrund zuzuordnen sind /AEC 85/.

Der “safety case“ zur Langzeitsicherheit /CNS 06a/ enthält die Sicherheitseinschätzung, die durch weitere Argumente wie

- angemessene Auswahl und Anwendung von Bewertungsstrategien,
- Aufzeigen der Robustheit des Endlagersystems,
- Gebrauch von ergänzenden Indikatoren und
- Einsatz anderer Nachweise zur Ermittlung der Konfidenz

ergänzt wird. Die Sicherheitseinschätzung umfasst die Analyse zur Gesamtauslegung des Endlagers mit den darauf folgenden Einflüssen auf den Menschen und die Umwelt.

Die Bewertung der Langzeitsicherheit ist hinsichtlich des Zeitrahmens so durchzuführen, dass derjenige Zeitrahmen zu betrachten ist, bei dem die vorhersagbare maximale Auswirkung auftreten wird.

Die Demonstration der Sicherheit wird in Bezug auf die fortschreitende Zeit weniger auf quantitativen Vorhersagen abzuleiten sein, sondern mehr auf qualitativen Argumenten basieren. Quantitative Langzeitprognosen sollten deswegen nicht als garantierte Ergebnisse betrachtet werden, sondern lediglich als Sicherheitsindikatoren.

Hinsichtlich der Bewertungsstrategien wird auf die Anwendung von deterministischen und probabilistischen Methoden, einschließlich der Kombination dieser verschiedenen Methoden, verwiesen.

Die Beurteilung der Ergebnisse der Sicherheitseinschätzung ist an Hand von Akzeptanzkriterien vorzunehmen. Diese Akzeptanzkriterien sind als numerische Werte festzulegen. Die Akzeptanzkriterien beziehen sich auf den

- radiologischen Schutz von Personen und der Umwelt und auf den
- Schutz von Personen und der Umwelt vor nicht radioaktiven, aber gefährlichen Stoffen.

Zur Individualdosis für Personen der Öffentlichkeit (aus der kritischen Gruppe) wurde als Grenzwert der Individualdosis 1 mSv pro Jahr festgeschrieben /CNS 06a/. Bei der Anwendung des ALARA-Prinzips mit dem Ziel der Minimierung radiologischer Belastungen ist für die Phase nach Verschluss zum Nachweis der Optimierung der Zielwert für die effektive Dosis (Akzeptanzwert) von kleiner 0,3 mSv pro Jahr zu erreichen.

Hinsichtlich der Darstellung von radiologischen Belastungen wird zugelassen, dass diese auch als Risiken dargestellt werden können. Auf der Basis der ICRP-Vorgehensweise ergibt sich für 0,3 mSv pro Jahr das Risiko für stochastische Effekte von  $2 \times 10^{-5}$  pro Jahr.

Bewertungsmaßstäbe hinsichtlich chemotoxischer Belastungen des Menschen können den Schutzziele und Leitlinien, die im Rahmen des Umweltschutzes formuliert wurden, entnommen werden. Es ist üblich, dass diese mit einem Sicherheitsfaktor – normalerweise 100 - beaufschlagt wurden.

Aus diesem Grund wird bei der Ableitung von Akzeptanzkriterien bezüglich der Belastungen verursacht durch chemotoxische Stoffe auf entsprechende Umweltvorgaben, wie z. B. der Einhaltung von Grenzwerten für das Trinkwasser, für Sedimente oder für Böden, zurückgegriffen. Z. B. wird bei einem Risiko von  $10^{-6}$  für eine schädliche Auswirkung auf Böden von einem vernachlässigbaren Einfluss auf den Menschen ausgegangen /CNS 06a/.

Bezüglich des Schutzes der Umwelt sind auch nichtmenschliche Biota, d. h. Flora und Fauna, in die Bewertung einzubeziehen. Im Unterschied zum Menschen wird hierbei nicht die Individualgefährdung als Maßstab zugrunde gelegt, sondern die Auswirkungen auf Populationen, Gemeinschaften oder Ökosysteme. Die Annahme, dass mit dem Schutz des Menschen auch der der Umwelt gewährleistet ist, wird als „historische Annahme“ zitiert und auf Entwicklungsbedarf hinsichtlich des Strahlenschutzes nichtmenschlicher Biota verwiesen. Dieser solle den gleichen Prinzipien wie die Schutzkriterien hinsichtlich chemotoxischer Substanzen folgen. Es wird auf einschlägige Regeln und Literatur verwiesen. Dort erfolgt die Festlegung von Kriterien anhand der Beobachtung sensibler Spezies mit Hilfe der Schwellwerte für beobachtete Effekte bei 25% der Lebewesen, der niedrigsten Werte, bei denen überhaupt Effekte beobachtet wurden, sowie von Werten, für die keine Effekte beobachtet wurden. Diese abgeleiteten Werte wurden dann mit Sicherheitsfaktoren multipliziert. Neben diese Vorgehensweise tritt

das Prinzip, für in der Natur vorkommende metallische Komponenten das 95- oder das 97,5-Perzentil der natürlichen Konzentrationen heranzuziehen.

Nichtradiologische (chemotoxische) Akzeptanzkriterien hinsichtlich des Schutzes der Umwelt können bestimmte Konzentrationen oder Ströme der toxischen Substanzen darstellen, wie sie beispielsweise den "Canadian Environmental Quality Guidelines" zu entnehmen sind.

Der zeitlich zu berücksichtigende Rahmen für die Langzeitsicherheit wurde bisher nicht konkret festgelegt. Es wird aber gefordert, dass derjenige Zeitrahmen zu betrachten ist, bei dem maximale Auswirkungen auftreten können /CNS 06a/.

## **5.2.2 Anforderungen an Bau (oder Auslegung), Betrieb, Verschluss**

### **5.2.2.1 Auslegungsgrundsätze**

Die Auslegung des Endlagers soll in der Art erfolgen, dass technische und natürliche Barrieren ein gestaffeltes Multibarrierensystem – unter Zugrundelegung des "defense in depth"-Prinzips – ergeben, welches geeignet ist, die Radionuklide und nicht-radioaktiven Bestandteile der radioaktiven Abfälle von der Umwelt zu isolieren und zurückzuhalten. Zudem wird eine sorgfältige Standortauswahl, insbesondere unter dem Aspekt der Verminderung der Möglichkeit unbeabsichtigten menschlichen Eindringens – z. B. durch entsprechende Tiefenlage – gefordert /CNS 06a/.

Im Rahmen des "Concept Assessment" ist ein Satz von Ereignissen und Prozessen zu identifizieren, die Einfluss auf die Auslegung des Endlagers haben können. Die dabei verwendeten Annahmen einschließlich der gewählten Ausgangsbedingungen, z. B. zu den Abfalleigenschaften, zu den Modellansätzen oder zu den Unsicherheiten von Daten oder Analysen, sind zu begründen. Das "Concept Assessment" soll sowohl einen iterativen Prozess als auch einen Bewertungsprozess durchlaufen. Letztendlich soll die Machbarkeit eines gewählten Endlagerkonzeptes dargestellt werden können /AEC 85/.

### **5.2.2.2 Endlagerbetrieb und -verschluss**

#### **Betrieb**

Die Leitlinie G-320 enthält keine expliziten Anforderungen an den Betrieb eines Endlagers /CNS 06a/.

Einleitend wird darauf verwiesen, dass der Betrieb eines Endlagers eine eigenständige Genehmigung erfordert /CNS 06a/. Zur Erlangung der Genehmigung für den Endlagerbetrieb muss der Antragsteller gemäß /GOV 08/ folgende Unterlagen erarbeiten und vorlegen:

- Überwachungsprogramme für die Umwelt
- Betriebs- und Instandhaltungsverfahren
- Inbetriebsetzungsprogramm
- Inspektions- und Wartungsprogramm
- Art und Höhe der Strahlung, Inventar an radioaktiven und chemotoxischen Substanzen
- Qualifikation und Ausbildung jeden einzelnen Mitarbeiters

#### **Verschluss**

Analog zum Betrieb wird einleitend darauf verwiesen, dass vor Verschluss eines Endlagers eine Genehmigung zur Stilllegung (“Decommissioning licence“) einschließlich eines Stilllegungsplanes für die Anlage oder den Standort erforderlich ist /CNS 06a/.

### **5.2.3 Anforderungen an die Langzeitsicherheit**

Die Bewertung der Langzeitsicherheit ist Teil jeden Genehmigungsantrages.

#### **Mehrbarrierensystem und multiple Sicherheitsfunktionen**

Das Konzept für die Langzeitsicherheit des Endlagers beruht auf dem sicheren Einschluss und der Isolation der radioaktiven Abfälle. Dies wird nach dem “defense in depth“-Prinzip durch eine robuste Auslegung des Endlagers basierend auf einem

multiplen Barrierensystem erreicht. Dieses Mehrbarrierensystem besteht aus technischen und natürlichen Barrieren.

Als technische Barrieren werden das Abfallprodukt, der Behälter, das Versatzmaterial und das Endlager angesehen. Zu den natürlichen Barrieren gehören das Wirtsgestein und das angrenzende Deckgebirge sowie das Grundwasser /AEC 85, CNS 06a, NWM 09b/.

Bei den natürlichen Barrieren wird im Detail besonders auf Effekte verwiesen, die sich auf Grund des Grundwasserflusses, der Mineralogie und der Struktur der Gesteine, der Lage und der Eigenschaften von Gesteinsabweichungen und chemischen Prozessen ergeben. Diese zu berücksichtigenden Effekte werden als die fünf geologischen Kriterien bezeichnet /AEC 87/.

Im Rahmen des "safety case" ist zu demonstrieren, dass das Versagen einer Barriere nicht zu inakzeptabel hohen radiologischen Risiken führt und dass der Ausfall einer Barriere sicherheitstechnisch durch andere Barrieren weitgehend aufgefangen werden kann.

– **Redundanz / Diversität**

Auf Grund der geforderten Kombination von technischen und natürlichen Barrieren ist die Redundanz verschiedener Barrieren prinzipiell gegeben, auch wenn ein und dieselbe Barriere nicht über den gesamten Sicherheitsnachweiszeitraum wirken bzw. über ein komplementäres Pendant verfügen muss.

– **Passive Sicherheit**

Das geologische Endlager ist so auszulegen, dass für künftige Generationen keine Notwendigkeit besteht, Überwachungs- oder Wartungsmaßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit des Endlagers durchführen zu müssen.

Der Nachweis der Robustheit der Auslegung ist an Hand der Ergebnisse von Vorhersagemodellen zu ermitteln. /AEC 85/.

## **Institutionelle Anforderung an die Phase nach Verschluss**

Die **aktive** (Monitoring, Überwachung und Wartung) und **passive** – bestehend z. B. aus (Nutzungseinschränkungen oder Marker) **institutionelle Kontrolle** ist Teil des kanadischen Sicherheitsmanagementsystems und dient insbesondere der Erhöhung des Vertrauens in das System. Dabei wird gemäß internationaler Vorgehensweise davon ausgegangen, dass die Gewährleistung einer institutionellen Überwachung als Sicherheitsmerkmal nur einige hundert Jahre beträgt. Die Langzeitsicherheit des Endlagers darf nicht von institutionellen Kontrollmaßnahmen abhängen.

## **Behandlung des menschlichen Eindringens**

Hinsichtlich der Robustheit sollte der Antragsteller gemäß der Richtlinie G-320 den Nachweis erbringen, dass das Endlagersystem seine Integrität und Verlässlichkeit auch unter extremen Bedingungen, Störfallszenarien oder unerwarteten Störungen einschließlich des menschlichen Eindringens beibehält.

Für die Beurteilung des Einflusses von menschlichem Eindringen ist in den entsprechenden Szenarien anzunehmen, dass eine vorgesehene institutionelle Kontrolle nicht greift.

Für den Fall unabsichtlichen menschlichen Eindringens sind die resultierenden Belastungen für die eindringenden Menschen zu beurteilen.

Szenarien, die das unbeabsichtigte menschliche Eindringen beinhalten sollten fallspezifisch sein, basierend auf der Abfallart und der Ausführung der Anlage, und sollten darüber hinaus sowohl die Wahrscheinlichkeit eines Eindringens als auch die damit verbundenen Konsequenzen berücksichtigen.

Die ermittelte Dosis kann über regulatorische Richtwerte hinausgehen. Solche Ergebnisse sind angesichts der mit der Bewertung verbundenen Unsicherheiten, des konservativen Dosis-Richtwertes und der Wahrscheinlichkeit des Eindringens zu interpretieren. Sowohl die Wahrscheinlichkeit als auch das Ausmaß der Konsequenzen unbeabsichtigten menschlichen Eindringens sind entsprechend auszuweisen.

Durch entsprechende Maßnahmen ist die Dosis zu begrenzen und die Eintrittswahrscheinlichkeit des menschlichen Eindringens zu reduzieren. Als mögliche Maßnahmen werden Annahmekontrollen hinsichtlich des Abfalls, die Tiefenlage des Endlagers, Umsetzung von robusten Auslegungsmerkmalen die ein Eindringen erschweren und die Implementierung von aktiven oder passiven Kontrollen genannt.

Um einen möglichen Einfluss des menschlichen Eindringens zu minimieren, wurde abgeleitet, dass ein Endlagerstandort nur dort zu akzeptieren ist, wo die Konzentrierungs- und Isolationsfunktionen des Endlagers wahrscheinlich nicht durch künftige menschliche Aktivitäten zerstört werden können.

Ausgehend davon sollte ein Endlagerstandort nicht in Gebieten liegen, bei denen die geologische Formation aus jetziger Sicht ökonomisch abbaubare Rohstoffe, wie z. B. Erdöl oder Mineralien, enthält. Außerdem sollte ein Endlagerstandort außerhalb förderungswürdiger Grundwasserressourcen liegen /NWM 09b/.

#### **5.2.4 Rückholbarkeit**

NWMO empfiehlt in ihrem von der kanadischen Regierung bestätigten APM, die Rückholbarkeit der Abfälle für einen ausgedehnten Zeitraum sicherzustellen bis die künftige Gesellschaft den Beschluss fasst, das Endlager zu verschließen und eine adäquate Art und Dauer der Überwachung festlegt /NWM 05/.

#### **5.2.5 Optimierung / "Stepwise approach"**

Hinsichtlich der radiologischen Optimierung des Endlagerbetriebes wird die Umsetzung des ALARA-Prinzips gefordert. Abweichend von den Richtlinien der anderen Länder beschränkt die kanadische Richtlinie G-320 die Optimierungsziele für die Phase nach Verschluss ebenfalls auf rein radiologische Aspekte. So wird gefordert, einen aus den ICRP-Empfehlungen übernommenen radiologischen Optimierungszielwert von 0,3 mSv/a anzustreben. Im Fall der nachgewiesenen Unterschreitung dieses "design targets", gilt das Optimierungsgebot als erfüllt. Da hierdurch das regulatorisch vorgegebene Dosislimit von 1 mSv/a deutlich unterschritten wird, werden nach G-320 auch Unsicherheiten bei Langzeitprognosen oder hinsichtlich künftiger menschlicher Handlungen sowie die Möglichkeiten der Exposition durch weitere künstliche radiologische Quellen in der Umgebung des Endlagers durch die Optimierung konzeptionell mit erfasst.

Ein schrittweiser Endlagerentwicklungsprozess wird nach G-320 schon durch die einschlägige Gesetzgebung unter NSCA gefordert. Danach ist für jede Phase eines Endlagers (Standort, Errichtung, Betrieb, Stilllegung / Verschluss) eine separate Genehmigung erforderlich. Diese wird nach Vorlage von dokumentierten Sicherheitsbewertun-

gen (z. B. "preliminary safety analysis report" für die Errichtungs- resp. "a final safety analysis report" für die Betriebsphase) erteilt. Zudem sind regelmäßige Bewertungen z. B. von Programmen zum Strahlenschutz oder zum Umweltschutz vorzunehmen. Damit soll sichergestellt werden, dass die jeweils aktuellen Entwicklungen nach Stand von Wissenschaft und Technik auch für konkrete Endlagerprojekte umgesetzt werden /CNS 6a/. Im APM hat die Beteiligung der Öffentlichkeit am schrittweisen Endlagerentwicklungsprozess einen hohen Stellenwert /NWM 05/.

### **5.2.6 Sicherheits- und Qualitätsmanagement**

Es wird ein Managementsystem gefordert, das klar aufzeigt, wie die Sicherheit des Endlagers und der Schutz der Umwelt erreicht wird. Im Einzelnen ist zu beschreiben, wie die verschiedenen Systemkomponenten, z. B.

- Art der Abfälle
- technische Barrieren
- natürliche Barrieren
- aktive und passive institutionelle Kontrolle

miteinander und langfristig mit der Umwelt agieren.

Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle werden explizit im Rahmen der Standortcharakterisierung gefordert. Zudem müssen alle Rechenmodelle qualitätsgesichert sein. Gleiches gilt auch für jede Art des Dateninputs bei der Entwicklung von Bewertungsmodellen.

## 6 Schweiz

Für die Schweiz wurde folgende Richtlinie ausgewertet /ENSI 09a/:

**Richtlinie ENSI-G03/d „Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis“ April 2009**

[http://www.ensi.ch/fileadmin/deutsch/files/G-003\\_D.pdf](http://www.ensi.ch/fileadmin/deutsch/files/G-003_D.pdf)

### 6.1 Rahmenbedingungen

#### **Gesetzlicher Rahmen und regulatorische Struktur**

In der Schweiz liegen als übergeordnete Gesetze das Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003 (Stand: 1. Januar 2009) /KEG 09/, das Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991 (Stand: 1. Januar 2007) /STSG 07/, das Bundesgesetz über das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSIG) vom 22. Juni 2007 (Stand: 1. Januar 2009) /ENSI 09c/ und das Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG) vom 22. Juni 1979 (Stand: 1. August 2008) /RPG 08/ vor.

Der weitere gesetzliche Rahmen wird durch entsprechende Verordnungen [Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 (Stand: 1. Januar 2009) /KEV 09/; Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994 (Stand: 1. Januar 2009) /STSV 09/; Verordnung über das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSIV) vom 12. November 2008 (Stand: 1. Januar 2009) /ENSI 09d/; Raumplanungsverordnung (RPV) vom 28. Juni 2000 (Stand: 1. September 2007) /RPV 07/] sowie Richtlinien und Sachpläne gebildet.

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) ist seit dem 01.01.2009 die Nachfolgeorganisation der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Das ENSI erfüllt die Aufgaben, die ihm gemäß der Kernenergiegesetzgebung, der Strahlenschutzgesetzgebung, der Bevölkerungs- und Zivilschutzgesetzgebung und den Vorschriften die Beförderung von gefährlichen Gütern betreffend übertragen sind. Es erlässt in seiner Eigenschaft als Aufsichtsbehörde, bzw. gestützt auf einen Auftrag gemäß Art. 11 Abs. 3 KEV, u. a. Richtlinien /ENSI 09c/.

## Stand der Endlagerung

Die Schweiz besitzt noch kein Endlager. Das schweizerische Entsorgungskonzept sieht für **schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA)** und für **hochaktive Abfälle (HAA)** zwei verschiedene geologische Tiefenlager (Endlager in tiefen geologischen Formationen) vor.

Schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) enthalten vorwiegend radioaktive Stoffe mit kurzer Halbwertszeit. Sie fallen beim Betrieb von Kernkraftwerken, beim Rückbau bzw. Abbruch von nuklearen Forschungsanlagen an und stammen auch aus **Medizin, Industrie und Forschung (MIF-Abfälle)**. Zu den hochaktiven Abfällen (HAA) zählen abgebrannte Brennelemente aus Kernanlagen und verglaste Spaltprodukte aus der Wiederaufarbeitung. Die Endlager für die zwei Abfallklassen (SMA und HAA) können an verschiedenen Standorten oder an einem gemeinsamen Standort gebaut werden /BFE 08/.

Ein Endlager in tiefen geologischen Formationen umfasst das Hauptlager, das Pilotlager und die Testbereiche sowie die erforderlichen unterirdischen Zugangsbauwerke. Nach /KEV 09/ sind in den Testbereichen die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtsgesteins zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises abzuklären. Eine Besonderheit der schweizerischen Endlagerkonzeption ist die Forderung nach der Errichtung eines vom Hauptlager räumlich und hydraulisch getrennten Pilotlagers /KEV 09/<sup>7</sup>. Danach sind im Pilotlager das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtsgesteins bis zum Ablauf - der gesetzlich geforderten - Beobachtungsphase<sup>8</sup> zu überwachen und bei der Überwachung im Hinblick auf den Verschluss Daten zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises zu ermitteln. Zudem müssen die Ergebnisse der Überwachung auf die Vorgänge im Hauptlager übertragbar sein. Es wird gefordert, dass die Bauweise des Pilotlagers sowie die Art der Einlagerung der Abfälle und der Verfüllung den Ausführungen des Hauptlagers entsprechen. Im Pilotlager wird eine repräsentative kleine Menge von Abfällen eingelagert und während der Dauer der Beobachtungsphase überwacht.

Die Lagerbehälter für hochaktive Abfälle sind auf einen vollständigen Einschluss der Radionuklide während **tausend** Jahren ab deren Einlagerung auszulegen.

---

<sup>7</sup> Das **Pilotlager** geht auf eine Empfehlung der EKRA zurück /ENSI 09b/.

<sup>8</sup> Die **Beobachtungsphase** ist ein länger andauernder Zeitraum, in dem ein geologisches Tiefenlager vor dem Verschluss überwacht wird und die radioaktiven Abfälle ohne großen Aufwand zurückgeholt werden können /KEG 09/.

Ziel ist es, im Jahr 2030 ein Endlager für die schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA) und 2040 eines für die hochaktiven Abfälle (HAA) in Betrieb zu nehmen.

Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) hat mit ihren Untersuchungen am **Opalinuston** gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, hochaktive Abfälle in der Schweiz zu entsorgen. Der Bundesrat hat den von der Nagra im Juni 2006 vorgelegten Entsorgungsnachweis akzeptiert, aber verlangt, dass die Nagra, sich bei ihren weiteren Untersuchungen nicht auf den Opalinuston im Zürcher Weinland beschränkt /BFE 08/.

### **Standortauswahlprozess**

Das Verfahren zum Standortentscheid ist im „Sachplan geologische Tiefenlager“ festgelegt. Der Sachplan ist ein Instrument des Bundes (Art. 13 Raumplanungsgesetz) für den Standortentscheid. Der Sachplan besteht aus einem Konzeptteil und einem Umsetzungsteil. Am 2. April 2008 hat der Bundesrat (d. h. in der Schweiz die Regierung) den Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager verabschiedet. Der **Konzeptteil** regelt die regionale Partizipation, er legt die Verfahrensschritte in 3 Etappen fest und beschreibt die Zusammenarbeit mit den Kantonen, den betroffenen Gemeinden, den Bundesstellen und den Nachbarstaaten. Mit der Genehmigung des Konzeptteils kann die Suche nach Standorten für Endlager in der Schweiz beginnen /BFE 08/.

Mit dem **Umsetzungsteil** entfaltet der Sachplan konkrete inhaltliche und räumliche Wirkung. Die Resultate der einzelnen Etappen werden in einem Ergebnisbericht und Objektblättern dokumentiert. /BFE 08/.

Am 01.05.2009 hat der Vorsteher des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) den gemäß „Sachplan geologische Tiefenlager“ vorgesehenen Beirat Entsorgung zur Beratung des UVEK bei der Durchführung des Auswahlverfahrens eingesetzt /BFE 09/.

### **Übergeordnete Festlegungen zur Rückholbarkeit**

Bis zu einem allfälligen Verschluss des Lagers muss die **Rückholung** der radioaktiven Abfälle ohne großen Aufwand möglich sein (Art. 37 KEG). Maßnahmen, die zur Sicherstellung der Rückholung getroffen werden, dürfen die passiven Sicherheitsbarrieren und damit die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen (Art. 11 Abs. 2c KEV) /KEV 09/.

### **Rechtliche Stellung der Sicherheitsanforderungen**

Für Bau, Betrieb und Verschluss eines Endlagers sowie die Anforderungen an die Nachweise der Betriebs- und Langzeitsicherheit hat das Eidgenössische Nuklear-

sicherheitsinspektorat (ENSI) im April 2009 die Richtlinie ENSI-G03 „Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager“ /ENSI 09a/ erlassen. Diese Richtlinie betrifft die radiologische Sicherheit von Endlagern in tiefen geologischen Formationen. Sie ersetzt die frühere Richtlinie HSK-R-21 /HSK 93/. Es werden Anforderungen an den Betrieb der Anlagen gestellt, insofern diese für Endlager für radioaktive Abfälle und deren Verschluss spezifisch sind. Wo anwendbar, gelten für den Bau und den Betrieb auch die Regelungen anderer Richtlinien der Aufsichtsbehörde.

Mit der Richtlinie ENSI-G03 erfüllt das ENSI die Forderung der Kernenergieverordnung (KEV, Art. 3), die für geologische Tiefenlager spezifische Auslegungsgrundsätze verlangt. Richtlinien sind Vollzugshilfen, die rechtliche Anforderungen konkretisieren und eine einheitliche Vollzugspraxis erleichtern.

Anforderungen bezüglich der Freisetzung chemotoxischer Stoffe werden in der Umweltschutzgesetzgebung geregelt. Anforderungen, die sich bezüglich Sicherheit und Kontrolle spaltbarer Materialien ergeben, werden in der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmaßnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008 geregelt und hier beschränkt auf deren Relevanz bezüglich Betriebs- und Langzeitsicherheit behandelt.

Zur Richtlinie ENSI-G03 wurde im April 2009 auch ein Erläuterungsbericht /ENSI 09b/ veröffentlicht. Dieser Bericht spezifiziert die in der Richtlinie gestellten Anforderungen durch weitere Erläuterungen und Beispiele.

## **Genehmigung**

Betreiber einer kerntechnischen Anlage benötigen eine Rahmenbewilligung des Bundesrates (KEG, Art. 12, Abs. 1). Die Bewilligung in der Schweiz ist gleichzusetzen mit der Genehmigung in Deutschland. Die Bewilligung ist mit einem Bewilligungsgesuch zu beantragen.

Die Entsorgungspflichtigen beantragen bei den entsprechenden Behörden die Bewilligungsgesuche für die in KEG und KEV festgelegten Phasen und Bewilligungsschritte zu Projektierung, Bau, Betrieb und Verschluss eines Endlagers. Die Behörden können beim Vorliegen der Voraussetzungen die jeweilige Bewilligung erteilen. Auf die Erteilung einer Rahmenbewilligung besteht aber kein Rechtsanspruch (KEG, Art. 12, Abs. 2).

Begonnen wird mit der Projektierungsphase, in welcher die Standortsuche nach dem Konzeptteil des „Sachplan geologische Tiefenlager“ erfolgt. Ziel ist, die Rahmenbewilligung mit Bau eines Felslabors am ausgewählten Standort sowie die Baubewilligung für das Endlager und die Betriebsbewilligung am Ende der Bauphase zu erlangen. Die Betriebsphase umfasst den Einlagerungsbetrieb, die Beobachtungsphase und den Verschluss. Die Beobachtungsphase endet mit der Verschlussverfügung. Die Verschlussarbeiten beginnen nach ihrer Anordnung durch den Bundesrat und werden mit der Feststellung des ordnungsgemäßen Verschlusses abgeschlossen; es beginnt die Nachverschlussphase. Danach kann der Bundesrat nach Art. 39, Abs. 3 KEG eine weitere, befristete Überwachung anordnen. Nach ordnungsgemäßem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist wird das Endlager durch eine Feststellungsverfügung aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen (Art. 39 Abs. 4 KEG). Mit der Feststellungsverfügung untersteht das Endlager nicht mehr dem KEG.

## **6.2 Anforderungen**

Die Richtlinie ENSI-G03 betrifft die radiologische Sicherheit bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen. Sie beinhaltet die Konkretisierung der Auslegungsgrundsätze für Bau, Betrieb und Verschluss eines Endlagers sowie die Anforderungen an die Nachweise der Betriebs- und Langzeitsicherheit. Sie legt das übergeordnete Schutzziel und die Schutzkriterien sowie Anforderungen an ein Endlager fest und enthält Festlegungen bezüglich der Führung des Sicherheitsnachweises. Weiterhin werden wichtige Begriffe zur Endlagerung radioaktiver Abfälle definiert (Anhang 1 in /ENSI 09a/), soweit diese nicht bereits durch das KEG definiert sind. Es werden u. a. Anforderungen an den Betrieb der Anlagen gestellt, insofern diese für Endlager in tiefen geologischen Formationen und deren Verschluss spezifisch sind. Wo anwendbar, gelten für den Bau und den Betrieb auch weitere Regelungen anderer Richtlinien der Aufsichtsbehörde (z. B. HSK-R-07, HSK-R-29).

### **6.2.1 Schutzziele und Schutzkriterien für Betriebs- und Nachbetriebsphase**

Bei der Formulierung der Richtlinie ENSI-G03 wurden gegenüber der früheren Richtlinie HSK-R-21 /HSK 93/ Änderungen in der Nomenklatur vorgenommen, um sie dem Sprachgebrauch der IAEA /IAEA 06a, IAEA 06b/ anzupassen. Mit dem „**Schutzziel**“ wird die grundlegende Zielsetzung im Bezug auf den Schutz von Mensch und Umwelt definiert, die in /HSK 93/ als „Ziel der Endlagerung“ bezeichnet wurde. Für die Umset-

zung des Schutzziels werden „**Leitsätze**“ aufgestellt. Die Leitsätze spezifizieren das Schutzziel näher, z. B. bezüglich seines örtlichen und zeitlichen Geltungsbereichs, sie enthalten auch konkrete Anforderungen an die sicherheitstechnische Auslegung eines geologischen Tiefenlagers. Diese Leitsätze entsprechen weitgehend den „Prinzipien“ in /HSK 93/. Schließlich werden quantitative „**Schutzkriterien**“ festgelegt, die in /HSK 93/ „Schutzziele“ genannt wurden.

## **Schutzziel**

Mit der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen sind radioaktive Abfälle so zu entsorgen, dass der Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung dauernd gewährleistet ist, ohne dass künftigen Generationen unzumutbare Lasten und Verpflichtungen auferlegt werden.

## **Leitsätze**

Die Leitsätze beruhen auf den „Prinzipien der Endlagerung“ in /HSK 93/ und den in den „Safety Requirements“ der IAEA aufgeführten Grundsätzen und Anforderungen an die geologische Endlagerung radioaktiver Abfälle /IAEA 06a/. Folgende Leitsätze sind zu berücksichtigen:

- Schutz des Menschen:  
„Die geologische Tiefenlagerung darf nur eine geringe zusätzliche Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung zur Folge haben.“
- Schutz der Umwelt:  
„Die Umwelt als natürliche Lebensgrundlage des Menschen und anderer Lebewesen ist zu schützen. Die Artenvielfalt darf durch die Endlagerung radioaktiver Abfälle nicht gefährdet werden.“
- Grenzüberschreitender Schutz:  
„Die Risiken aus der geologischen Tiefenlagerung in der Schweiz dürfen im Ausland nicht grösser sein als sie in der Schweiz zulässig sind.“
- Zukünftiger Schutz:  
„Die Risiken, die in der Zukunft aus der geologischen Tiefenlagerung in der Schweiz entstehen, dürfen nicht grösser sein als sie heute in der Schweiz zulässig sind.“
- Langzeitsicherheit:  
„Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass nach dessen Verschluss

keine weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit erforderlich sind.“

- Sicherheitsbarrieren:  
„Die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers ist durch gestaffelte, passiv wirkende, technische und natürliche Barrieren (Mehrfachbarrierensystem, Art. 11, Abs. 2 Bst. b KEV) zu gewährleisten.“
- Überwachung und Rückholung:  
„Allfällige Vorkehrungen zur Erleichterung von Überwachung und Unterhalt eines Endlagers oder zur Rückholung der Abfälle dürfen die passiven Sicherheitsbarrieren des Lagers nicht beeinträchtigen.“
- Lastenfreiheit:  
„Die Vorsorge für die geologische Tiefenlagerung ist eine Aufgabe, die der nutznießenden Gesellschaft zukommt. Zukünftigen Generationen dürfen keine unzumutbaren Lasten auferlegt werden.“
- Bodenschätze:  
„Die absehbare zukünftige Nutzung von Bodenschätzen darf durch ein geologisches Tiefenlager nicht unnötig eingeschränkt werden.“
- Optimierung:  
„Bei Entscheiden im Rahmen der Projektierung, des Baus und Betriebs (inklusive des Verschlusses) eines Endlagers in tiefen geologischen Formationen sind Alternativen im Hinblick auf die Optimierung der Betriebs- und Langzeitsicherheit abzuwägen.“

### **Schutzkriterien**

Die Einhaltung des Schutzziels und der Leitsätze sind anhand quantitativer Schutzkriterien im Rahmen des Sicherheitsnachweises nachzuweisen.

Das Schutzziel der Richtlinie ENSI-G03 ist mit dem Schutzziel des "Safety Series" Dokuments der IAEA "Fundamental Safety Principles" /IAEA 06b/ im Einklang, das auch in Art. 4 KEG enthalten ist /ENSI 09b/.

### 6.2.1.1 Schutzkriterien für die Betriebsphase

Im Hinblick auf die Schutzkriterien für die Betriebsphase eines Endlagers wird in /ENSI 09a/ auf die Anforderungen der Strahlenschutzverordnung /STSV 09/ und der Richtlinie HSK-R-11 „Strahlenschutzziele im Normalbetrieb für Kernanlagen“ /HSK 03b/, hinsichtlich der Oberflächenanlagen auf die Schutzziele 1 bis 3 der Richtlinie HSK-R-29 „Anforderungen an die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle“ /HSK 04/ verwiesen. Die Richtlinie ENSI-G03 selbst geht nicht weiter auf diese Kriterien ein.

### 6.2.1.2 Schutzkriterien für die Phase nach Verschluss

In Abhängigkeit von der Eintrittswahrscheinlichkeit möglicher Varianten der künftigen Entwicklung eines verschlossenen Endlagers werden in /ENSI 09a/ zwei verschiedene Schutzkriterien (Dosiskriterium und Risikokriterium) vorgesehen.

- **Schutzkriterium 1:** Für jede als wahrscheinlich eingestufte künftige Entwicklung darf die Freisetzung von Radionukliden zu keiner Individualdosis führen, die 0,1 mSv pro Jahr überschreitet (Dosisansatz).
- **Schutzkriterium 2:** Die als wenig wahrscheinlich eingestuften, unter Schutzkriterium 1 nicht betrachteten, künftigen Entwicklungen dürfen zusammen kein zusätzliches radiologisches Gesundheitsrisiko einer Einzelperson darstellen, das größer als ein Millionstel pro Jahr ist (Risikoansatz).

In /ENSI 09a/ wird bewusst kein quantitatives Kriterium für die Unterteilung in wahrscheinliche und wenig wahrscheinliche Entwicklungen festgelegt, um dem Antragsteller Ermessensspielraum bei der Einteilung der Szenarien einzuräumen. Die gewählte Unterteilung muss vom Antragsteller begründet dargelegt werden.

Die radiologischen Auswirkungen werden Szenarien abhängig komplementär nach Schutzkriterium 1 oder Schutzkriterium 2 bewertet:

- Szenarien, die als wahrscheinliche künftige Entwicklungen angesehen werden, sind einzeln nach Schutzkriterium 1 zu beurteilen.
- Szenarien, die als wenig wahrscheinliche künftige Entwicklungen angesehen werden, sind in Summe anhand des Schutzkriteriums 2 zu beurteilen. Bei der Anwendung des Schutzkriteriums 2 sind den einzelnen Szenarien zunächst Eintrittswahrscheinlichkeiten zuzuordnen. Die aus einem Szenarium resultie-

rende Individualdosis, multipliziert mit der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Dosisrisikofaktor, ergibt den Einzelbeitrag des Szenariums zum jährlichen radiologischen Todesfallrisiko. Die Risikobeiträge aller zu betrachtenden Szenarien werden addiert und ergeben das radiologische Todesfallrisiko für das Bezugsjahr, welches unterhalb  $10^{-6}$  pro Jahr liegen muss.

## **6.2.2 Anforderungen an Bau (oder Auslegung), Betrieb, Verschluss**

Die Richtlinie /ENSI 09a/ konkretisiert die Anforderungen an die Auslegung und den Betrieb (einschließlich des Verschlusses) eines Endlagers in tiefen geologischen Formationen gemäß den Vorgaben von KEG und KEV sowie jene zur Einhaltung der beschriebenen Schutzkriterien. Die Betriebsphase eines Endlagers umfasst den Einlagerungsbetrieb, die Beobachtungsphase und den Verschluss.

### **6.2.2.1 Auslegungsgrundsätze**

Die schweizerische Konzeption eines Endlagers umfasst das Hauptlager, das Pilotlager und die Testbereiche (Art. 64 KEV) sowie die erforderlichen unterirdischen Zugangsbauwerke. Untertägige Anlagen und Oberflächenanlagen sind auf die Umsetzung der Leitsätze zur Erreichung des Schutzziels und auf die Einhaltung der Schutzkriterien ausulegen. Es gelten die in der Kernenergiegesetzgebung festgehaltenen Grundsätze der nuklearen Sicherheit und Sicherung. Nach /ENSI 09a/ und den weiteren Erläuterungen in /ENSI 09b/ ist bezüglich der Endlagerauslegung insbesondere

- sicherzustellen, dass weder in der Betriebsphase (inkl. Störfällen) noch nach dem Verschluss nukleare Kritikalität eintreten kann,
- vorzusehen, dass Abluft und Abwässer während der Betriebsphase radiologisch überwacht werden,
- vorzusehen, dass betriebliche Abfälle und Abwässer in geeigneter Weise gesammelt und kontrolliert entsorgt werden,
- den Erfordernissen des Zonenbetriebs (kontrollierte Zonen) gemäß Richtlinie HSK-R-07 /HSK 95/ Rechnung zu tragen und Maßnahmen zur Begrenzung der Ortsdosisleistung in routinemäßig begangenen Räumlichkeiten auf niedrigem Niveau (z. B. durch Abschirmungen) zu halten,

- der Brandschutz auf der Basis kantonaler Vorgaben und der Anforderungen der Richtlinie HSK-R-50 /HSK 03a/ zu gewährleisten und
- für die einzelnen Anlagenteile eine Klassifizierung gemäß Anhang 4 KEV und eine entsprechende Auslegung vorzunehmen.

### **Anforderungen an Oberflächenanlagen einschließlich Zugangsbauwerke**

Für die Oberflächenanlagen und oberflächennahen Zugangsbauwerke zum Endlager gelten, soweit sinngemäß anwendbar, die Anforderungen der HSK-R-29 /HSK 04/. Im Prinzip handelt es sich um die gleichen Anforderungen wie an Abfallbehandlungsanlagen oder Zwischenlager für radioaktive Abfälle. Zusätzlich besteht das Gebot der Auslegung von Oberflächenanlagen im Hinblick auf die Verhinderung von Wasserzutritten in das Endlagerbergwerk /ENSI 09b/.

### **Anforderungen an die untertägigen Bauwerke**

Planung und Bau der untertägigen Anlagen ist auf die Sicherheit im Betrieb und in der Nachverschlussphase auszurichten /ENSI 09b/. Die Auslegung untertägiger Anlagen muss insbesondere folgende sicherheitsgerichtete Aspekte berücksichtigen:

- Gewährleistung geomechanischer Stabilität,
- Auslegung unter Beachtung des thermischen Eintrags durch die Einlagerung wärmeproduzierender Abfälle im Hinblick auf dessen Verträglichkeit mit den technischen und natürlichen Barrieren,
- Auslegung unter Beachtung der physikalischen und chemischen Verträglichkeit technischer Endlagerkomponenten einschließlich der technischen Barrieren mit den Abfällen und mit der natürlichen Barriere,
- angemessene räumliche und wettertechnische Trennung von Bereichen, in denen mit radioaktiven Abfällen umgegangen wird, zu anderen Bereichen,
- Dimensionierung der unterirdischen Bauwerke entsprechend den Erfordernissen des Normalbetriebs und der Störfallbewältigung einschließlich der Möglichkeit des schnellen Erreichens untertägiger Grubenteile durch Rettungskräfte bzw. schneller Fluchtmöglichkeiten und
- Vermeidung von Wassereinbrüchen.

## **Zusätzliche Anforderungen**

### **– Pilotlager**

Eine Besonderheit des schweizerischen Konzepts ist die Einrichtung eines Pilotlagers. Im Pilotlager ist das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtsgesteins bis zum Ablauf der Beobachtungsphase zu überwachen. Bei der Überwachung sind im Hinblick auf den Verschluss Daten zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises zu ermitteln (Art. 66 Abs. 1 KEV). Das Pilotlager kann aus einer oder mehreren Kavernen bzw. einem oder mehreren Stollenabschnitten bestehen.

Das Pilotlager ist gemäß Art. 66 Abs. 3 KEV auszulegen und mit den für die Überwachung notwendigen Instrumenten auszurüsten. Störfälle im Pilotlager dürfen die Betriebs- und Langzeitsicherheit des Hauptlagers nicht beeinträchtigen und umgekehrt. Eine etwaige Umlagerung der Abfälle aus dem Pilotlager in das Hauptlager ist bei der Auslegung zu berücksichtigen.

### **– Temporärer Verschluss**

Für den Fall einer unerwarteten ungünstigen Entwicklung der Rahmenbedingungen, welche die Sicherheit des Endlagers oder einen ordnungsgemäßen Verschluss in Frage stellen, sind technische und betriebliche Vorkehrungen für einen temporären Verschluss derart zu treffen, dass die Einlagerungsbereiche eines Endlagers während der Betriebsphase jederzeit rasch in einen passiv sicheren Zustand überführt werden können. Der temporäre Verschluss unterscheidet sich vom ordnungsgemäßen Verschluss (nach Art. 39 Abs. 3 und 4 KEG) durch die Notwendigkeit schnellen Handelns und die Möglichkeit der Reversibilität der getroffenen Maßnahmen.

Die Realisierbarkeit eines temporären Verschlusses ist in einem Konzept darzulegen, das zusammen mit dem Baubewilligungsgesuch einzureichen ist. Das Funktionieren der Vorkehrungen ist in den Testbereichen vor Einlagerung der Abfälle zu zeigen. Die Vorkehrungen dürfen die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen. Beispielsweise kann dazu die vorsorgliche Lagerung der für eine (einfache) Versiegelung notwendigen Materialien in der Anlage dienen. Es wird nicht gefordert, dass solche Vor-Ort-Reserven für eine endgültige Versiegelung ausreichen, aber zumindest für eine Versiegelung einzelner Schlüsselzonen, die einige Jahrzehnte bis Jahrhunderte einen stabilen und sicheren Zustand garantiert. Die genauen Anforderungen müssen projekt- und situationsbezogen beurteilt werden /ENSI 09b/.

## – **Umsetzung der Safeguardsbestimmungen**

Für die Sicherung sind die erforderlichen administrativen, organisatorischen und baulichen Vorkehrungen vorzusehen. Dafür gelten die Bestimmungen gemäß Art. 9 KEV /KEV 09/, der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien /UVEK 08/, der Safeguardsverordnung /SFGV 08/ und der Richtlinie HSK-R-49, „Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen“ /HSK 03c/.

Danach ist ein Endlager so auszulegen, dass Kontrollen spaltbarer Materialien gemäß der Safeguardsverordnung /SFGV 08/ möglich sind. Die Vorkehrungen zugunsten der Sicherung und der Kontrollen spaltbarer Materialien dürfen jedoch die Langzeitsicherheit eines geologischen Endlagers nicht beeinträchtigen.

### **6.2.2.2 Anforderungen an Endlagerbetrieb und -verschluss**

Die Betriebsphase eines Endlagers beginnt mit dem Ende der Bauphase und der Erteilung der Betriebsbewilligung. Sie umfasst den Einlagerungsbetrieb, die Beobachtungsphase und den Verschluss. Die Verschlussarbeiten beginnen nach dem Ende der Beobachtungsphase nach entsprechender Anordnung durch den Bundesrat. Sie enden mit dem ordnungsgemäßen Verschluss. Danach kann der Bundesrat gemäß Art. 39, Abs. 3 KEG eine weitere, befristete Überwachung anordnen. Nach dem ordnungsgemäßen Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist wird ein geologisches Tiefenlager durch eine Feststellungsverfügung aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen (Art. 39 Abs. 4 KEG).

### **Umweltüberwachung**

In /ENSI 09a/ ist eine Umweltüberwachung des Endlagers und seiner Umgebung vorgeschrieben, die (im Sinne der Beweissicherung) ausreichend früh vor der Auffahrung des Endlagers begonnen werden muss und mit der Entlassung des Endlagers aus der Kernenergiegesetzgebung endet. Nach /ENSI 09b/ dient die Umweltüberwachung folgenden Aspekten:

- der Erfassung der Umweltradioaktivität in der Umgebung des Endlagers im Sinne der Beweissicherung,

- der bau- und betriebsbegleitenden Überwachung des geologischen Umfeldes (Hydrogeologie, Geomechanik etc.) als Fortsetzung der untertägigen Standortcharakterisierung,
- der radiologischen Überwachung der Betriebsphase zur Gewährleistung der strahlenschutzrechtlichen Bestimmungen gemäß Richtlinie HSK-G14 /HSK 08/ und
- der Prozesse bezüglich der Abfälle und der Sicherheitsbarrieren im Pilotlager.

Die Resultate dieser Überwachung liefern Grundlagen für den Verschluss des Endlagers.

Die Überwachungsmaßnahmen dürfen die passiven Sicherheitsbarrieren nicht beeinträchtigen. Die Überwachungsprogramme und ihre Ergebnisse sind dem ENSI periodisch zur Prüfung vorzulegen und von diesem auf ihre Eignung zu prüfen.

### **Einlagerungsbetrieb**

Die Anforderungen an den Einlagerungsbetrieb werden in den Betriebsvorschriften für das Endlager festgelegt. Insbesondere hat der Eigentümer des Endlagers für die Entgegennahme von Abfallgebinden zur Einlagerung **Annahmebedingungen** festzulegen, um auf diese Weise die Konformität des chemischen und radiologischen Abfallinventars zu den entsprechenden Voraussetzungen des Sicherheitsnachweises zu gewährleisten. Die entsprechenden Verfahren zur Konformitätsprüfung sind dem ENSI zur Prüfung vorzulegen.

Die Einlagerung von Abfallgebinden bedarf der vorherigen Freigabe durch das ENSI. Die Freigaben können sich auf einzelne Abfallgebände oder Abfallgebindetypen beziehen.

Für die Betriebsphase („Normalbetrieb und Störfälle“) sind Vorkehrungen zur Begrenzung der Strahlenexposition zu treffen und ein adäquates Störfallmanagement festzulegen.

Es sind die zur Einhaltung der IAEA Safeguards /IAEA 98/ und der in der Safeguardsverordnung /SFGV 08/ festgehaltenen erforderlichen Vorkehrungen zur Kontrolle der spaltbaren Kernmaterialien festzulegen.

## **Verfüllung**

Die Verfüllung der Lagerräume ist auf die Erfordernisse der Langzeitsicherheit abzustimmen. So soll eine Stabilisierung und längere Offenhaltung von Einlagerungsbereichen (beispielsweise durch ein Auskleiden oder das Setzen von Gittern und Ankern) nur dort und in dem Maße erfolgen, wo dies für die Langzeitsicherheit keine ungünstigen Auswirkungen hat. Das Verfüllen der Einlagerungsbereiche des Hauptlagers für hochaktive Abfälle hat fortlaufend im Anschluss an die Einlagerung der Abfallbinde zu erfolgen.

## **Meldepflicht und Berichterstattung**

Die Meldepflicht und die Berichterstattung an das ENSI über Betrieb, radiologischen Zustand und Abweichungen vom normalen Betrieb richten sich nach den Richtlinien ENSI-B02, „Periodische Berichterstattung der Kernanlagen“ /ENSI 08a/ und ENSI-B03, „Meldungen der Kernanlagen“ /ENSI 08b/.

Es werden die Anforderungen an die periodische Berichterstattung sowie an Art, Inhalt, Darstellung und Anzahl der Berichte geregelt, ebenso Anforderungen an die Meldungen bei Änderungen und Vorkommnissen.

Die Berichterstattung über die Umgebungsüberwachung soll die Auswirkungen der radioaktiven Abgaben und der Direktstrahlung des Endlagers und seiner Oberflächenanlagen auf die Umgebung darstellen. Die Berichterstattung soll Aufschluss darüber geben, ob der Genehmigungsinhaber die Vorgaben der Strahlenschutzgesetzgebung, insbesondere des Art. 102 Abs. 1 StSV und die in der Rahmenbewilligung festgelegten Abgabegrenzwerte, einhält.

## **Verschluss**

Mit dem Verschluss des Endlagers ist die Betriebsphase beendet. Das Endlager ist in einen Zustand zu überführen, in welchem keine weiteren Maßnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit erforderlich sind. Der Verschluss umfasst das Verfüllen sämtlicher nach der Beobachtungsphase noch offenen Teile des Endlagers, das Überführen des Pilotlagers in einen langfristig sicheren Zustand und das Versiegeln der für die Langzeitsicherheit und die Sicherung maßgebenden Teile des Endlagersystems (Art. 69 KEV).

Der Plan für den Verschluss ist alle zehn Jahre zu überprüfen und nachzuführen (Art. 42 KEV).

Der Betreiber hat einen Antrag zum Verschluss einzureichen. Vor Durchführung der Verschlussarbeiten ist nachzuweisen, dass die vorgesehene Versiegelung die an sie gestellten Anforderungen erfüllt. Die Verschlussarbeiten werden vom Bundesrat angeordnet (Art. 39 KEG).

Nach dem ordnungsgemäßen Verschluss muss die Langzeitsicherheit erneut durch eine Sicherheitsanalyse bestätigt werden, in der die effektive Ausführung des Verschlusses berücksichtigt wird. Diese Sicherheitsanalyse bildet die Grundlage für die Feststellungsverfügung zur Entlassung des Endlagers aus der Kernenergiegesetzgebung.

Im Sicherheitsbericht zur Verschlussverfügung muss beschrieben und begründet werden, ob und aus welchen Gründen sowie in welcher Form gegebenenfalls von der Auslegung gemäß den vorangegangenen Bewilligungen abgewichen wurde. Die Auswirkungen dieser Abweichungen auf die Langzeitsicherheit müssen aufgezeigt werden.

### **6.2.3 Anforderungen an die Langzeitsicherheit**

#### **Mehrbarrierensystem bzw. multiple Sicherheitsfunktion**

Es wird ein Mehrbarrierensystem zum Einschluss und zur Rückhaltung der Radionuklide indirekt über die Sicherheitsbarrieren gefordert. In den Leitsätzen aus /ENSI 09a/ wird zu den Sicherheitsbarrieren festgelegt:

„Die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers ist durch gestaffelte, passiv wirkende, technische und natürliche Barrieren (**Mehrfachbarrierensystem**, Art. 11, Abs. 2 Bst. b KEV) zu gewährleisten.“ (“defense in depth“-Prinzip)

Nach /ENSI 09a/ Anhang 1 ist ein Mehrfachbarrierensystem „ein System von gestaffelten, passiv wirkenden, verschiedenartigen technischen und natürlichen Barrieren zum Einschluss und zur Rückhaltung der im Abfall enthaltenen Radionuklide. Die Wirksamkeit des Mehrfachbarrierensystems darf nicht hauptsächlich von der Wirksamkeit einer einzelnen Barriere abhängig sein.“

#### **– Redundanz / Diversität**

Aus der Forderung, dass die Wirksamkeit des Mehrbarrierensystem nicht hauptsächlich von der Wirksamkeit einer einzelnen Barriere abhängig sein darf sowie aus der Bezeichnung **mehrfach** kann auf eine Redundanz geschlossen werden. Diese kann bei verschiedenen Barrieren auf bestimmte Zeiträume begrenzt sein. Die weitere For-

derung nach **verschiedenartigen** technischen und natürlichen Barrieren setzt zumindest implizit eine Materialdiversität im Mehrbarrierensystem voraus.

Die Staffelung der Barrieren bedeutet insbesondere, dass die verminderte Wirksamkeit einer Barriere nicht zum Versagen des gesamten Systems führt, sondern dass durch die Staffelung diese Funktion teilweise oder ganz durch eine andere Barriere des Systems übernommen wird.

#### – **Passive Sicherheit**

Das Konzept der Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen fordert zur Auslegung des Endlagers in Art. 11, Abs. 2 Bst. b KEV, dass die Langzeitsicherheit durch gestaffelte **passive** Sicherheitsbarrieren gewährleistet wird.

In den Leitsätzen aus /ENSI 09a/ wird unter Kapitel 4.2 Buchstabe e. zur Langzeitsicherheit festgelegt:

„Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass nach dessen Verschluss keine weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit erforderlich sind.“ Dies entspricht der Forderung nach passiver Sicherheit resp. Nachsorgefreiheit des Endlagers.

### **Institutionelle Anforderungen an die Phase nach Verschluss**

#### – **Überwachung**

Nach ordnungsgemäßigem Verschluss kann der Bundesrat eine weitere, befristete **Überwachung** anordnen.

Nach ordnungsgemäßigem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist stellt der Bundesrat fest, dass das Endlager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht. Der Bund kann weiter gehende Maßnahmen nach diesem Zeitpunkt, insbesondere eine **Umweltüberwachung**, durchführen.

#### – **Dokumentation**

Der Eigentümer eines Endlagers muss eine **Dokumentation** zur langfristigen Sicherstellung der Kenntnisse über das Endlager erstellen. Diese nach dem ordnungsgemäßen Verschluss abzugebende Dokumentation ist in mindestens drei Exemplaren zu erstellen und an unterschiedlichen Stellen zu archivieren. Die Dokumentation muss in Ergänzung zu Art. 71 KEV mindestens die Beschreibung der verschlossenen Anlage und des Standorts enthalten. Hierzu gehören die Lage und Ausdehnung der Unterta-

gebauten sowie die Geometrie und die Eigenschaften der umliegenden geologischen Schichten; Informationen über jedes eingelagerte Gebinde mit seiner genauen Position sowie seine für die Konditionierung und Einlagerung erstellte Dokumentation; Informationen über die Zwischenlagerung und gegebenenfalls Nachkonditionierung von Gebinden, sofern es gegenüber der dokumentierten Standardauslegung abweichende Eigenschaften der Abfallgebände betrifft und diese Information für eine etwaige Rückholung oder die Langzeitsicherheit relevant ist; Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Überwachung sowie Ergebnisse der aktualisierten Sicherheitsanalyse.

Der Bundesrat schreibt die dauerhafte **Markierung** des Endlagers vor (Art. 40 Abs. 7 KEG). In der Richtlinie ENSI-G03 wird der Betreiber verpflichtet, entsprechende Vorschläge zu entwickeln. Konzepte zur Markierung werden international diskutiert. Konkrete Vorgaben zur Art der Markierungen werden in /ENSI 09a/ nicht behandelt.

In jedem Fall ist der Langzeitsicherheit höchste Priorität beizumessen; diese darf durch die Markierung nicht beeinträchtigt werden. Beispielsweise wäre eine Markierung dann für die Sicherheit problematisch, wenn sie in entfernter Zukunft zwar noch erkennbar ist, aber nicht mehr korrekt interpretiert wird. Sie könnte Neugierde wecken und ein Eindringen in das Lager geradezu provozieren.

#### – **Schutzbereich des Endlagers**

In Art. 40 KEG wird der Schutzbereich für ein Endlager definiert und bestimmt, dass der Bundesrat Kriterien für den Schutzbereich festlegt. Wer Tätigkeiten und andere Vorhaben in einem Schutzbereich durchführen will, braucht die Genehmigung der vom Bundesrat bezeichneten Behörde. Der Bundesrat hat die Einzelheiten zu regeln. Der Schutzbereich wird im Grundbuch und in den kantonalen Richt- und den kommunalen Nutzungsplänen eingetragen.

Der Bundesrat sorgt dafür, dass die Informationen über das Endlager und die eingelagerten Abfälle so aufbewahrt werden, dass die Kenntnisse darüber erhalten bleiben.

### **Behandlung menschlichen Eindringens**

Menschliches Eindringen wird in /ENSI 09a/ unterteilt in:

#### – **Absichtliches menschliches Eindringen**

Künftige menschliche Handlungen, die im Wissen um die Existenz des Endlagers vorgenommen werden, werden zu den „nicht zu betrachtenden Entwicklungen“ gezählt. Diese Tätigkeiten werden in die Verantwortung der handelnden Gesellschaft gestellt.

#### – **Unbeabsichtigtes menschliches Eindringen**

Im Zusammenhang mit der Dokumentation nach dem ordnungsgemäßen Verschluss wird in /ENSI 09b/ erläutert:

„Um den Verlust durch zerstörerische Ereignisse zu vermeiden, sollen mindestens drei Exemplare der Dokumentation hergestellt werden, die an unterschiedlichen Orten geschützt aufbewahrt werden.“

Das Aufbewahren von verständlichen und allgemein zugänglichen Informationen über das geologische Tiefenlager hilft, die Wahrscheinlichkeit eines **unbeabsichtigten** menschlichen Eindringens herabzusetzen. Es darf aber kein notwendiges Sicherheitselement für die Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers sein, da das Funktionieren der Informationsübermittlung über sehr lange Zeiten nicht garantiert werden kann.“

Hinsichtlich der Durchführung einer Sicherheitsanalyse werden unter dem Aspekt „Annahmen zu Klimaentwicklung und Lebensweise der Bevölkerung“ in /ENSI 09b/ die Szenarien erläutert, in denen durch menschliche Handlungen die Sicherheit des Endlagers beeinflusst wird:

„Für die Bewertung der Langzeitsicherheit sind auch Szenarien einzubeziehen, welche die Folgen von menschlichen Handlungen analysieren. Die Annahmen für die künftigen menschlichen Handlungen sollen auf den Aktivitäten der heutigen Gesellschaft (z. B. bei der Erstellung von Stauseen, Tunnel- oder Brunnenbauten sowie Explorationsbohrungen) beruhen.“

#### **6.2.4 Rückholbarkeit**

„Die Rückholung umfasst die Bergung und den Transport von eingelagerten radioaktiven Abfällen aus dem Endlager zurück zur Oberfläche“ /ENSI 09a/.

Eine Rückholung der eingelagerten Abfälle soll in Angriff genommen werden, wenn die im Endlager beobachteten Abweichungen vom auslegungskonformen Verhalten nicht durch technische Maßnahmen unter Wahrung der Langzeitsicherheit behoben werden können. Dies könnte z. B. aufgrund der Folgen eines Störfalls während der Betriebsphase oder durch ein Versagen des Barrierensystems während der Beobachtungsphase eintreten.

Das Konzept für eine etwaige Rückholung der Abfälle ist mit dem Baubewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager dem ENSI zur Prüfung und Genehmigung vorzu-

legen. Im Rückholungskonzept sind die zu erwartenden Strahlenexpositionen für das Personal und die Bevölkerung abzuschätzen.

Das mit der Baubewilligung einzureichende Konzept für die Rückholung der Abfälle ohne großen Aufwand beschreibt die Art und Weise der Rückholung der Abfälle. Sie kann beispielsweise ermöglicht werden, indem der Zugang zu den Einlagerungsbereichen gewährleistet bleibt und die für die Rückholung notwendigen Anlagen und Maschinen bereitgestellt werden können. Das Konzept beinhaltet auch Aussagen zu den radiologischen Auswirkungen, zum zeitlichen Bedarf und zu den Kosten der Rückholung.

Bis zu einem Verschluss des Endlagers muss die Rückholung der radioaktiven Abfälle ohne großen Aufwand möglich sein (Art. 37 KEG). Deshalb sind die Lagerbehälter bezüglich ihrer mechanischen Beständigkeit so auszulegen, dass sie mindestens bis zum Ende der Beobachtungsphase ohne großen Aufwand zurückgeholt werden können. Maßnahmen, die zur Sicherstellung der Rückholung getroffen werden, dürfen die passiven Sicherheitsbarrieren und damit die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen (Art. 11 Abs. 2c KEV).

Da die Rückholung nicht als fester Bestandteil des Betriebes einzuplanen ist, werden an die konkrete Umsetzung der Rückholung keine Anforderungen gestellt. Es wird jedoch festgehalten, in welchen Fällen eine Rückholung angeordnet werden könnte. Diesen Fällen gemeinsam ist, dass die Langzeitsicherheit eines Endlagers nicht mehr gewährleistet werden kann.

## **6.2.5 Optimierung / “Stepwise approach“**

### **Optimierung in der Betriebsphase**

In der Betriebsphase ist der Strahlenschutz für das Endlager und seiner zugehörigen Oberflächenanlagen gemäß Art. 6 StSV zu optimieren. Dabei sind auch etwaige Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit zu berücksichtigen.

Die radiologischen Auswirkungen durch das Endlager und der zugehörigen Oberflächenanlagen sind mit geeigneten Maßnahmen bei Projektierung, Bau und Betrieb so weit zu reduzieren, wie dies nach dem Stand von Wissenschaft und Technik möglich und zumutbar ist, auch wenn die in den Schutzkriterien festgelegten Grenzwerte eingehalten werden. Dies bedeutet, dass für die Betriebsphase das Optimierungsgebot auf die Minimierung der radiologischen Auswirkungen beschränkt ist.

## Optimierung der Langzeitsicherheit

Bei jedem Schritt zur Realisierung des Endlagers sind für jede sicherheitsrelevante Entscheidung verschiedene Alternativen und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit in qualitativer Weise zu betrachten und eine für die Sicherheit insgesamt günstige Entscheidung zu fällen. Dieses Optimierungsverfahren ist zu dokumentieren.

Im Sinne einer Optimierung der Langzeitsicherheit sind z. B. die Lagerbehälter für hochaktive Abfälle auf einen vollständigen Einschluss der Radionuklide während **tausend** Jahren ab deren Einlagerung auszulegen. Die Einschlussdauer der Lagerbehälter unter Endlagerbedingungen ist durch die Entsorgungspflichtigen anhand des Standes von Wissenschaft und Technik aufzuzeigen und die Versagensquote der Behälter und deren Zeitabhängigkeit zu untersuchen.

Das Optimierungsgebot für die Langzeitsicherheit ist somit nicht allein auf Strahlenschutzprinzipien begrenzt. Optimierung ist mit dem **schrittweisen** Endlagerentwicklungsprozess verknüpft.

### 6.2.6 Sicherheits- und Qualitätsmanagement

Die Richtlinie ENSIG03 fordert, übergreifend für alle sicherheitsrelevanten Arbeiten zu Projektierung, Bau, Betrieb, Beobachtung und Verschluss eines Endlagers, ein Qualitätsmanagementprogramm zu erstellen, anzuwenden und dessen Umsetzung zu dokumentieren, welches international anerkannten Standards entspricht (Art. 16 und 20 KEG, bzw. Art. 25 und 31 KEV). Soweit praktikabel, sind darin Ermessensentscheidungen als solche festzuhalten.

Für den Umgang mit Daten und die Durchführung von quantitativen oder qualitativen Analysen im Rahmen der Sicherheitsanalysen sind qualitätssichernde Maßnahmen vorzusehen und zu dokumentieren.

Die qualitätssichernden Maßnahmen, für die für die geplanten Arbeiten vorgesehenen Programme für sämtliche sicherheitsrelevanten Tätigkeiten, werden detailliert beschrieben.

Die Qualitätsmanagementprogramme sind dem ENSI jeweils vorher zur Stellungnahme einzureichen.

## **7 Zusammenfassung**

Das primäre Ziel der vorliegenden Arbeiten im Vorhaben 3607109175 war auf die Identifizierung von Entwicklungen in Bezug auf Sicherheitsanforderungen bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen ausgerichtet. Hierzu wurden neue oder revidierte Regeln und Richtlinien oder auch solche, die sich in der Diskussion befinden, zur Auswertung herangezogen. Die daraus identifizierten konkreten Sicherheitsanforderungen oder sich abzeichnende Entwicklungen wurden anschließend für jedes der ausgewählten Länder in strukturierter Weise getrennt nach Themenfeldern zusammengestellt. In der vorliegenden Zusammenfassung werden die einzelnen Themenfelder hinsichtlich möglicher Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede der Sicherheitsanforderungen und/oder länderspezifischen bzw. konzeptspezifischen Besonderheiten dargestellt.

### **Schutz des Menschen**

Alle betrachteten Regelwerke haben den Schutz des Menschen vor radiologischen Belastungen zum (Haupt-)Gegenstand. Daneben tritt der Schutz vor chemotoxischen Belastungen, der jedoch unterschiedlich behandelt wird: Teilweise wird auf diesbezügliche einschlägige Regelwerke verwiesen (Frankreich), teilweise werden die in solchen Regelwerken angegebenen Kriterien wiedergegeben (Kanada), teilweise wird ausschließlich auf den radiologischen Schutz eingegangen (Schweiz). In Großbritannien wird auf die einschlägigen nationalen Sicherheitsstandards verwiesen. Keins der betrachteten Regelwerke formuliert eigene Kriterien zum Schutz vor chemotoxischen Stoffen.

Nach /NEA 07/ werden in den verschiedenen nationalen Regelwerken folgende unterschiedliche (Geringfügigkeits-)Prinzipien zur Rechtfertigung von Kriterien hinsichtlich des Schutzes des Menschen vor radiologischen Belastungen in der Nachbetriebsphase herangezogen:

1. akzeptierte Risikoniveaus
2. Vergleich mit Strahlenschutzkriterien für gängige Praktiken
3. Vergleich mit natürlicher (Hintergrund-)Strahlung
4. Kombinationen dieser Ansätze

Allerdings liegen den Strahlenschutzkriterien für gängige Praktiken (Punkt 2) in der Regel ebenfalls Begründungen der Typen 1, 3 und/oder 4 zugrunde. Daneben treten Optimierungsprinzipien und Ansätze wie etwa das ALARA-Prinzip (so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar). Dieses Prinzip wird z. B. in der französischen und der britischen Leitlinie herangezogen, darüber hinaus werden keine weiteren Begründungen für die Ableitung numerischer Kriterien angeführt. In der kanadischen Leitlinie wird das ALARA-Prinzip für die Betriebsphase angewendet, während die Kriterien für die Nachbetriebsphase mit dem Vergleich mit der natürlichen Hintergrundstrahlung (Typ 3) begründet werden. Auch die Schweizer Richtlinie argumentiert anhand gegebener Belastungen („geringe zusätzliche Strahlenexposition“).

Alle Regelwerke unterscheiden zwischen dem Schutz in der Betriebs- und dem in der Nachbetriebsphase, im britischen Fall wird allerdings zwischen der “period of authorisation“ (bis zum später festzulegenden Zeitpunkt des Verschlusses) und dem Zeitraum danach unterschieden. Für die Betriebsphase ist zwischen dem Schutz des Betriebspersonals und dem der Bevölkerung zu unterscheiden. Die betrachteten Regelwerke aus Frankreich, Japan, Kanada und der Schweiz verweisen hierzu lediglich auf die einschlägigen Regeln zum Betrieb kerntechnischer Anlagen. Die britische Regel fordert hinsichtlich des Schutzes der Bevölkerung die Einhaltung von Dosisgrenzwerten (maximal 0,3 mSv pro Jahr für jede Quelle mit radioaktiven Freisetzungen und 0,5 mSv pro Jahr für Freisetzungen bei einem einzelnen Standort) für die “period of authorisation“. Daneben gibt es in der Richtlinie noch die Empfehlung zusätzlich die von der Health Protection Agency (HPA) empfohlene Jahresdosis von 0,15 mSv als Richtwert für den Schutz der Bevölkerung zu berücksichtigen.

Für die Nachbetriebsphase erfolgt die Festlegung von Dosisgrenzwerten (Frankreich: 0,25 mSv pro Jahr, Japan: Staffelung 10  $\mu$ Sv pro Jahr für wahrscheinliche, 300  $\mu$ Sv pro Jahr für weniger wahrscheinliche und 10 bis 100 mSv pro Jahr im Falle natürlicher Ereignisse mit extrem niedriger Wahrscheinlichkeit oder unbeabsichtigten menschlichen Eindringens), Dosiszielwerten (Kanada: 0,3 mSv pro Jahr) oder Risikorichtwerten (Großbritannien:  $10^{-6}$  pro Jahr). In der Schweiz werden beide Ansätze kombiniert (Dosisgrenzwert von 0,1 mSv pro Jahr für jede wahrscheinliche Entwicklung und Risikogrenzwert von  $10^{-6}$  pro Jahr für alle wenig wahrscheinlichen Entwicklungen zusammengefasst). Auch die französische Regel ermöglicht für die Bewertung der Konsequenzen aus abweichenden Szenarien alternativ das Konzept des Risikos; es wird allerdings kein diesbezügliches Kriterium formuliert, sondern stattdessen auf die mit dem Risikobegriff verbundenen konzeptionellen Probleme (Annahme der Gleich-

wertigkeit der Verringerung von Wahrscheinlichkeit und Exposition, Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeit) verwiesen und eine Bewertung unter Berücksichtigung von Situation, Wahrscheinlichkeit, Expositionshöhe und -dauer, Ausmaß der Verteilung von Radionukliden in der Biosphäre und Art der Expositionswege für ggf. betroffene Gruppen gefordert.

Keine der hier verwendeten Unterlagen definiert einen zeitlich begrenzten Geltungsbe-  
reich der Schutzziele. Der Tatsache der mit der Prognosezeit zunehmenden Unsicher-  
heit wird jedoch Rechnung getragen. In der französischen Leitlinie geschieht dies  
durch Festlegung, dass der Dosisgrenzwert jenseits von 10.000 Jahren als Richtwert  
zu sehen ist und die Analysen ggf. durch qualitative Betrachtungen zu ergänzen sind.  
Ein ähnlicher Hinweis zu qualitativen Darlegungen und Analysen findet sich auch in der  
kanadischen Leitlinie.

### **Schutz der Umwelt**

In den Leitlinien aus Frankreich, Japan, Kanada, der Schweiz und Großbritannien wird  
der Schutz der Umwelt als Ziel angegeben. Die schweizerische, die kanadische und  
die britische Leitlinie präzisieren diesen Schutz als den Schutz von Spezies bzw. der  
Artenvielfalt und als Schutz von Lebensraum (nicht als Schutz einzelner Lebewesen).  
In der kanadischen Leitlinie wird das Ziel des Schutzes nichthumaner Biota vor deter-  
ministischen Effekten als Hauptziel des radiologischen Schutzes formuliert.

Die kanadische Leitlinie ist die einzige unter den hier verwendeten Unterlagen, die sich  
näher mit dieser Thematik auseinandersetzt: Die Annahme, dass mit dem Schutz des  
Menschen auch der der Umwelt gewährleistet ist, wird als „historische Annahme“ zitiert  
und auf Entwicklungsbedarf hinsichtlich des Strahlenschutzes nichthumaner Biota ver-  
wiesen. Dieser solle den gleichen Prinzipien wie die Schutzkriterien hinsichtlich  
chemotoxischer Substanzen folgen. Es wird auf einschlägige Regeln und Literatur ver-  
wiesen. Dort erfolgt die Festlegung von Kriterien anhand der Beobachtung sensitiver  
Spezies mit Hilfe der Schwellwerte für beobachtete Effekte bei 25% der Lebewesen,  
der niedrigsten Werte, bei denen überhaupt Effekte beobachtet wurden, sowie von  
Werten, für die keine Effekte beobachtet wurden. Diese abgeleiteten Werte wurden  
dann mit Sicherheitsfaktoren multipliziert. Neben diese Vorgehensweise tritt das Prin-  
zip, für in der Natur vorkommende metallische Komponenten das 95- oder das 97,5-  
Perzentil der natürlichen Konzentrationen heranzuziehen.

## **Grenzüberschreitender Schutz**

In der kanadischen, der britischen und in der Schweizer Leitlinie wird gefordert, dass für Gebiete außerhalb der eigenen Grenzen die gleichen Prinzipien gelten sollen wie im eigenen Land. In der französischen Leitlinie und den für Japan ausgewerteten Unterlagen erfolgen keine Ausführungen zu Fragen des transnationalen Schutzes.

## **Schutz künftiger Generationen**

In allen Staaten, in denen die hier referierten Leitlinien gelten, gilt das „Übereinkommen über nukleare Entsorgung“ (in Deutschland gültig als Gesetz /BGB 98/), das die

„Gewährleistung wirksamer Abwehrvorkehrungen gegen eine mögliche Gefährdung in allen Stufen der Behandlung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, um den einzelnen, die Gesellschaft und die Umwelt heute und in Zukunft vor schädlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung zu schützen, und dies in einer Weise, dass die Bedürfnisse und Wünsche der heutigen Generation erfüllt werden, ohne daß die Fähigkeit künftiger Generationen, die eigenen Bedürfnisse und Wünsche zu erfüllen, aufs Spiel gesetzt wird“

fordert.

In den Leitlinien in Japan, Kanada, der Schweiz und Großbritannien wird gefordert, dass die Schutzkriterien für die Gesundheit künftiger Generationen keine höheren Belastungen zulassen dürfen als die für die heutige Generation.

In der Schweizer Richtlinie wird die Gewährleistung einer Lastenfreiheit für künftige Generationen gefordert und verlangt, dass die absehbare künftige Nutzung von Bodenschätzen nicht unnötig eingeschränkt wird. Im japanischen Regelwerk werden die diesbezüglichen Festlegungen der „Safety Fundamentals“ der IAEA /IAE 95/ (keine unzumutbaren Lasten für künftige Generationen) zitiert.

In der französischen Leitlinie wird ein Prinzip des äquivalenten Schutzes künftiger Generationen nicht explizit formuliert, es liegt jedoch offensichtlich den in der Leitlinie festgelegten Kriterien zugrunde. Die Langzeitsicherheit genießt keinen Vorrang vor der betrieblichen Sicherheit. Explizite Ausführungen zur Vermeidung von unzumutbaren Lasten und Verpflichtungen künftiger Generationen gibt es nicht. Im Hinblick auf die

Standortauswahl wird das Fehlen von Ressourcen, die von außergewöhnlichem Interesse sein können, gefordert.

### **Institutionelle Anforderung an die Phase nach Verschluss**

Mit der Ausführung institutioneller Maßnahmen nach Verschluss des Endlagers können sowohl Behörden als auch andere gesetzlich autorisierte Institutionen (z. B. wie in Großbritannien alternativ möglich der ehemalige Betreiber des Endlagers) beauftragt werden. Diese Maßnahmen betreffen z. B. Monitoring, Zugangsüberwachung (u. a. zur Einhaltung der Safeguards-Verpflichtungen), Flächennutzungsbeschränkung, Marker, Informationserhalt zu Inventar und Lage des Endlagers. Dabei dienen der Informationserhalt, die Beschränkung der Flächennutzung und die Applikation von Markern insbesondere dem Unterbinden menschlichen Eindringens. Monitoring und Überwachung hingegen liefern einen Beitrag zur Erhöhung des Vertrauens in die Sicherheit des Endlagers seitens der Öffentlichkeit.

Institutionelle Anforderungen an die Phase nach Verschluss werden in den ausgewerteten Ländern in unterschiedlichem Detaillierungsgrad formuliert, z. T. werden sie auch nur indirekt angesprochen. Grundlegendes Prinzip in allen Ländern ist aber, dass die – passive – Sicherheit des Endlagers für das Erreichen der Schutzziele im Vordergrund steht und sich das Sicherheitskonzept nicht auf aktive Maßnahmen der Nachsorge oder Wartung stützen darf. Insofern sind Maßnahmen nach Endlagerverschluss eher als sicherheitsunterstützend einzustufen oder sie dienen im Hinblick auf menschliches Eindringen zum Integritätserhalt der passiv wirkenden Barrieren des Endlagersystems.

Konkret ausformulierte Anforderungen haben nur die Länder Kanada, Schweiz und Großbritannien in ihren Regelwerken verankert. In Kanada und in Großbritannien werden institutionelle Maßnahmen nach Verschluss des Endlagers als Teil des Sicherheitsmanagementsystems angesehen. Dabei wird gemäß internationaler Vorgehensweise davon ausgegangen, dass die institutionelle Überwachung als Sicherheitsmerkmal einige hundert Jahre gewährleistet werden kann. In der Schweiz schreibt der Bundesrat die dauerhafte Markierung des Endlagers explizit vor, dabei darf die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigt werden. Nach dem Verschluss des Endlagers kann der Bundesrat eine befristete Überwachung anordnen. Eine Umweltüberwachung des Endlagers wird vornehmlich in der Betriebsphase gefordert, diese muss aber bis zur „Entlassung des Endlagers aus der Kernenergiegesetzgebung“ fortgeführt werden, d. h. gegebenenfalls auch nach dessen Verschluss. In Großbritannien sind organisatorische

und finanzielle Vorkehrungen, wie z. B. fortgesetztes Sicherheitsmanagement, für institutionelle Maßnahmen nach Endlagerverschluss vorgesehen. Es wird explizit gefordert, dass auch Maßnahmen nach Endlagerverschluss in den Optimierungsgedanken einzubeziehen sind. Neben den Überwachungsmaßnahmen ist der Erhalt von Informationen über das Endlagersystem sicherzustellen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Umweltbehörden eine aktive institutionelle Kontrolle nicht länger als 300 Jahre nach Ende der Einlagerung gewährleisten können. In Frankreich wird prioritär eine Überwachung des Endlagers bis zum Verschluss gefordert, wobei „bestimmte Überwachungsmaßnahmen auch nach Verschluss“ weitergeführt werden können. Zudem wird in der französischen Richtlinie bei der Behandlung des unbeabsichtigten menschlichen Eindringens davon ausgegangen, dass das Wissen um das Endlager 500 Jahre erhalten bleibt.

### **Passive Sicherheit**

Eine fundamentale Anforderung in allen, in die Auswertung einbezogenen Länder ist es, dass die Sicherheitskonzepte für die Phase nach dem Verschluss des Endlagers, auf der passiven Sicherheit der Endlagersysteme fußen. Die Auslegung ist (z. B. durch die Realisierung eines Multibarrierenkonzeptes, in dem multiple Sicherheitsfunktionen die Rückhaltung der Radionuklide bewirken) so zu gestalten, dass die Sicherheit des Endlagersystems langfristig gewährleistet ist, ohne dass es aktiver Wartungs- oder Nachsorgemaßnahmen künftiger Generationen / Gesellschaften bedarf. Diese Maxime der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen wird in allen untersuchten Sicherheitsanforderungen übereinstimmend zu Grunde gelegt. Für Japan kann die Forderung nach passiver Sicherheit allerdings nur indirekt aus den vorliegenden Unterlagen entnommen werden, soweit sich diese auf die Endlagerung von LLW beziehen. Es werden jedoch analoge Festlegungen für die Endlagerung von HLW erwartet. In der Schweiz ist es möglich, dass auch nach ordnungsgemäßem Verschluss des Endlagers und der Entlassung aus dem Kernenergiegesetz, der Bundesrat noch eine weitere befristete Überwachung des Endlagers anordnen kann und erst danach die passive Sicherheit zum Tragen kommt.

### **“Defense in depth“-Prinzip**

Sämtliche Richtlinien fordern, die Langzeitsicherheit des Endlagersystems auf einen Multibarrieren-Ansatz abzustützen. Das Multibarrierenprinzip sieht eine Staffelung verschiedener natürlicher, technischer und geotechnischer Barrieren (Behälter, Backfill im

Einlagerungsbereich, Abdichtung der Einlagerungsstrecken, Verfüllmaterial der Restgrube, Schachtabdichtungen, Wirtsgestein bzw. einschlusswirksamer Gebirgsbereich etc.) vor. Durch die Staffelung dieser Barrieren soll erreicht werden, dass ein (teilweises) Versagen einer einzelnen Barriere nicht zu inakzeptablen oder gar unkalkulierbaren radiologischen Risiken führt, sondern dass der (Teil-)Ausfall einer Barriere sicherheitstechnisch durch andere Barrieren (weitgehend) aufgefangen werden kann. Dieses "defense in depth"-Prinzip ist nach allen vorliegenden Richtlinien im Sicherheitskonzept der Endlagerung radioaktiver Abfälle umzusetzen und seine Funktionstüchtigkeit im Sicherheitsnachweis zu demonstrieren.

Der „defense in depth“-Ansatz ist im Prinzip eine Umsetzung der Forderung nach redundanter und diversitärer Auslegung von sicherheitsgerichteten Systemen, die aus dem Bereich kerntechnischer Anlagen stammt. Speziell im Fall von Endlagersicherheitskonzepten lässt sich die Forderung nach vollständiger Redundanz allerdings nicht für jede einzelne Barriere über den gesamten Nachweiszeitraum für die Langzeitsicherheit aufrecht erhalten. Der Grund ist, dass einige Barrieren während des Nachweiszeitraums von ca. 1 Mio. Jahren nur über eine bestimmte Zeitspanne wirksam sind. Somit können (i. Ggs. z. B. zu Kernkraftwerken) nicht alle Barrieren gleichzeitig über den gesamten Nachweiszeitraum redundant (und diversitär) wirken. Folglich wird in keiner der vorliegenden Richtlinien eine explizite Forderung nach strikter Redundanz und Diversität für jede einzelne Barriere über den Gesamtzeitraum erhoben, sondern es wird auf ein robustes System gestaffelter Barrieren nach dem "defense in depth"-Prinzip abgestellt. Auch hierbei wirken zu jedem Zeitpunkt mehrere Barrieren komplementär, so dass in der Gesamtheit eine redundante Wirkung verschiedener Barrieren über den gesamten Nachweiszeitraum gewährleistet ist. Dem Aspekt der Diversität wird in den Richtlinien von Großbritannien, Frankreich, Kanada und der Schweiz zumindest implizit Rechnung getragen, indem die Forderung nach einem Verbund verschiedenartiger technischer und natürlicher Barrieren aufgestellt wird.

In Japan, Großbritannien und Frankreich wird das Multibarrierenprinzip auf einen funktionalen Ansatz der multiplen Sicherheitsfunktionen ("multiple safety functions") erweitert. Sicherheitsfunktionen sind einzelne sicherheitsgerichtete physikalische oder geochemische und geologische Eigenschaften einer Endlagerkomponente (im Regelfall ist dies eine Barriere), die zur Erfüllung einer sicherheitsgerichteten Anforderung notwendig sind. Beispielsweise weist der in Endlagersystemen in Tonsteinformationen als Verfüllmaterial verwendete Bentonit sowohl eine hydraulische (d. h. physikalische) Abdichtwirkung gegenüber Fluiden auf als auch eine geochemische Wirkung im Hinblick

auf die Radionuklidrückhaltung durch Adsorption. Nach dem Ansatz der multiplen Sicherheitsfunktionen kann demnach auch ein und dieselbe Barriere redundante Sicherheitsfunktionen aufweisen. So wird beispielsweise das Versagen der hydraulischen Dichtwirkung einer Bentonitbarriere zumindest teilweise durch die Sorptionswirkung des Bentonits aufgefangen.

### **Behandlung menschlichen Eindringens**

Gemeinsames Merkmal der in die Auswertung einbezogenen Länder ist, dass das menschliche Eindringen in das Endlagersystem explizit thematisiert wird.

Alle Länder differenzieren zwischen absichtlichem und unbeabsichtigtem menschlichem Eindringen in das Endlager, wobei insbesondere das unbeabsichtigte menschliche Eindringen in den Fokus der Anforderungen zur Behandlung dieser Thematik rückt. So wird in den Richtlinien der Schweiz und Großbritannien zwischen unbeabsichtigtem und absichtlichem Eindringen unterschieden, wobei das absichtliche Eindringen in die Verantwortung der jeweils handelnden Gesellschaft gestellt wird. In Kanada wird die Ermittlung der radiologischen Belastung für unbeabsichtigt eindringende Personen gefordert und für das bewusste Eindringen ausgeschlossen. Desweiteren wird in Kanada gefordert, dass Szenarien, die das unbeabsichtigte menschliche Eindringen beinhalten, fallspezifisch zu erschließen sind und daher die Abfallart, die Anlagenausführung, die Wahrscheinlichkeit eines Eindringens als auch die damit verbundenen Konsequenzen zu berücksichtigen haben.

Mit dem unbeabsichtigten Eindringen ist der Verlust über die Kenntnis des Endlagerstandortes und der davon ausgehenden radiologischen Gefahr verbunden. Unter diesem Aspekt wird insbesondere der Informationserhalt als eine mögliche Maßnahme zur Reduzierung der Wahrscheinlichkeit des menschlichen Eindringens diskutiert (Japan, Schweiz). In Frankreich wird in der Leitlinie ein Zeitrahmen von 500 Jahren für den Informationserhalt angegeben, der gleichzeitig den frühesten Zeitpunkt, der für ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen zu unterstellen ist, markiert.

Weitere mögliche Maßnahmen werden im Zusammenhang mit der Tiefenlage des Endlagers (Japan, Kanada), der robusten Auslegung (Kanada), der institutionellen Kontrolle (Kanada) und der Meidung von Endlagerstandorten in ressourcenreichen Gebieten (Kanada) angesprochen.

Überwiegend wird in den Referenzen die Minimierung des Einflusses bzw. der Eintrittswahrscheinlichkeit eines menschlichen Eindringens gefordert (Kanada, Japan, Großbritannien). Konsens besteht darüber, dass das menschliche Verhalten und somit auch das menschliche Eindringen in das Endlagersystem nicht prognostiziert bzw. exakt bestimmt werden kann. Aus diesem Grund wird für die Behandlung des menschlichen Eindringens die Berücksichtigung des heutigen technologischen Entwicklungsstandes und gesellschaftlichen Verhaltens vorgegeben (Frankreich, Großbritannien, Schweiz).

Hinsichtlich der Integration bzw. Einordnung des menschlichen Eindringens in sicherheitsanalytischen Betrachtungen bestehen seitens der Länder jedoch deutliche Unterschiede. So wird die Behandlung des unbeabsichtigten menschlichen Eindringens in Japan in Form stilisierter Szenarien vorgeschrieben, in der Schweiz im Zusammenhang mit der Sicherheitsanalyse „Annahmen zu Klimaentwicklung und Lebensweise der Bevölkerung“ abgehandelt, in Frankreich zusammen mit anderen zukünftigen menschlichen Aktivitäten sowie Fabrikationsfehler, Auslegungsfehler und unentdeckten Störungen behandelt, in Kanada separat beurteilt und in die Interpretation der Normalentwicklungsszenarien einbezogen und in Großbritannien im Rahmen von „what-if“-Szenarien untersucht.

In Bezug auf die radiologischen Konsequenzen wird in Großbritannien die Abschätzung für die Eindringenden, der Bevölkerung in der Umgebung sowie anderer Lebewesen gefordert. Ähnliche Forderungen, die sich auf Personen und die Umwelt beziehen, gibt es in Kanada. Darüber hinaus wird in Kanada für Dosis-Konsequenzen, die über den regulatorischen Richtwert hinausgehen, gefordert, dass solche Ergebnisse im Zusammenhang mit den mit der Bewertung verbundenen Unsicherheiten, dem konservativen Dosis-Richtwert und der Wahrscheinlichkeit des Eindringens zu interpretieren sind. In Japan hingegen sind die stilisierten Szenarien unbeabsichtigten Eindringens in der Bewertung der Konsequenzenanalyse den seltenen natürlichen Ereignissen gleichzusetzen.

### **Rückholbarkeit**

In allen Ländern, deren Unterlagen zur Auswertung betrachtet wurden, wird die Rückholbarkeit thematisiert, wenngleich im Hinblick auf Motivation, Anlass und Art der Rückholung und den Zeitraum über welchen die Rückholung bereits eingelagerter Abfallgebinde ermöglicht werden soll, signifikante Unterschiede bestehen. Einheitlich wird

jedoch gefordert, dass Maßnahmen, die zur Sicherstellung der Rückholung getroffen werden, die passiven Sicherheitsbarrieren und damit die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen dürfen.

Die kanadische Richtlinie G-320 lässt die Frage der Rückholbarkeit offen. Im Rahmen des "Adaptive Phased Management" soll aber für nachfolgende Generationen die Möglichkeit bestehen, über die Handhabung und Verwendung der radioaktiven Abfälle zu einem späteren Zeitpunkt entscheiden zu können.

In der Schweiz ist die Rückholbarkeit der radioaktiven Abfälle nach dem Verschluss des Endlagers nicht vorgesehen. Bis zum Verschluss des Endlagers muss die Rückholung der radioaktiven Abfälle aber (z. B. durch entsprechende Auslegung der Behälter) ohne großen Aufwand möglich sein (Art. 37 KEG). Das Konzept für eine Rückholbarkeit der Abfälle ist vor Beginn der Errichtungsphase dem ENSI zur Prüfung und Genehmigung vorzulegen, wobei die im Fall der Rückholung zu erwartenden Strahlenexpositionen für das Personal und die Bevölkerung abzuschätzen sind. Eine Rückholung der eingelagerten Abfälle soll in Angriff genommen werden, wenn die im Endlager beobachteten Abweichungen vom auslegungskonformen Verhalten (z. B. bei Hinweisen auf ein Versagen des Barrierensystems) nicht durch technische Maßnahmen unter Erhalt der Langzeitsicherheit behoben werden können. Da die Rückholung ohne großen Aufwand nicht als fester Bestandteil des Betriebes einzuplanen ist, werden an die konkrete Umsetzung der Rückholung keine Anforderungen gestellt. Es wird jedoch festgehalten, in welchen Fällen eine Rückholung angeordnet werden könnte. Diesen Fällen gemeinsam ist, dass die Langzeitsicherheit eines Endlagers nicht mehr gewährleistet werden kann. Es ist nicht auszuschließen, dass die Überwachungseinrichtungen langfristig die Barrieren des Pilotlagers beeinträchtigen. Für einen solchen Fall ist vorzusehen, dass die eingebrachten Abfälle zurückgeholt und in das Hauptlager umgelagert werden können.

In Frankreich sieht das Gesetz n° 2006-739 vom 18. Juni 2006 /LOI 06a/ eine reversible Endlagerung vor, verschiebt aber eine Konkretisierung auf eine spätere Gesetzgebung, die entsprechend des Zeitplanes im Jahr 2016 erfolgen müsste. Lediglich eine Mindestfrist von 100 Jahren für die Reversibilität wurde bereits festgeschrieben, ohne dass jedoch angegeben wird, wann dieser Zeitraum beginnen soll.

In Großbritannien sollen nach dem Weißbuch der Regierung Planung, Auslegung und Errichtung des Endlagers so vorgenommen werden, dass die Rückholung der Abfälle nicht ausgeschlossen ist. Die Regierung stimmt grundsätzlich der Schlussfolgerung ih-

res Beratergremiums CoRWM zu, dass die Vorteile der Offenhaltung des Endlagers im Sinne der Rückhaltung in keinem Verhältnis zu den zu erwartenden Risiken stehen. In Anbetracht des bevorstehenden langen Zeitraums der Implementierung des Endlagers und der definitiven Entscheidung zu einem raschen Verschluss des Endlagers, will die Regierung aber die Option für die Rückholung resp. für eine längere Phase der Offenhaltung des Endlagers nicht ausschließen. In der Richtlinie /EA 09/ wird zum heutigen Zeitpunkt die Rückholung als behördlich geforderter konzeptioneller Bestandteil eines Endlagers nicht thematisiert. Es wird lediglich gefordert, dass, sofern der Antragsteller Vorkehrungen zur Rückholbarkeit treffen sollte, diese das im "environmental safety case" dargelegte Sicherheitskonzept nicht negativ beeinflussen dürfen. Nach dem Weißbuch der Regierung soll die Option der Rückholung resp. für eine längere Phase der Offenhaltung des Endlagers derzeit aufrechterhalten bleiben. Eine Entscheidung soll später in einem Diskussionsprozess mit Behörden und Betroffenen erfolgen.

In Japan hat die NSC festgelegt, dass die Möglichkeit der Rückholbarkeit so lange aufrechtzuerhalten ist, bis durch eine Sicherheitsanalyse auf der Basis von Daten aus der Errichtungs- und Betriebsphase nachgewiesen wird, dass ein sicherer Verschluss des Endlagers gewährleistet ist.

### **Optimierung**

Unter Optimierung wird in allen vorliegenden Sicherheitsanforderungen (zumindest sinngemäß) ein iterativer Abwägungsprozess verstanden, in dem unter Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik sowie wirtschaftlichen und sozialen Faktoren sämtliche organisatorischen, konzeptionellen und technischen Maßnahmen innerhalb der Grenzen praktischer Vernunft zu ergreifen sind, die dazu führen, dass die radiologischen Belastungen soweit wie möglich minimiert und die sicherheitsbezogene Robustheit eines Endlagersystems so weit wie möglich maximiert wird.

Obwohl die Anforderungen an die Optimierung der Sicherheitskonzepte zu den Endlagersystemen und die Optimierungsziele international nicht einheitlich definiert sind, spiegelt sich in den diesem Bericht zu Grunde liegenden Richtlinien (mit Ausnahme der von Kanada) der Trend der letzten Jahre wider, eine Differenzierung der Optimierungsziele für die Betriebsphase und die Phase vor Verschluss vorzunehmen.

Ausnahmslos wird für die Betriebs- und Stilllegungsphase die Minimierung des radiologischen Risikos unterhalb vorgegebener Schutzkriterien durch konzeptionelle, organi-

satorische und technische Maßnahmen auf der Basis des ALARA-Prinzips (As Low As Reasonably Achievable) der ICRP als Optimierungsgebot (wie bei anderen kerntechnischen Anlagen) festgelegt. Nach ICRP 103 /ICR 07/ ist dabei abzuwägen zwischen der Reduktion der radiologischen Belastung und den hierfür aufzuwendenden Ressourcen. Im Fall der britischen Richtlinie wird dieses radiologische Optimierungsziel erweitert auf die Minimierung der Gesundheitsrisiken durch chemotoxische Stoffe. In den Richtlinien Frankreichs und Großbritanniens wird weiterhin die Notwendigkeit hervorgehoben, soziale und ökonomische Faktoren im Abwägungsprozess mit zu berücksichtigen. Mit Ausnahme von Kanada wird in keiner Richtlinie konkreter spezifiziert, wann die Grenzen der Vernunft ("reasonably" in ALARA) durch den Optimierungsprozess des Sicherheitskonzeptes erreicht werden. Im Regelfall werden die Grenzen des Optimierungsgebotes eher abstrakt als Verhältnismäßigkeit im Sinne von „nach dem Stand von Wissenschaft und Technik möglich und zumutbar“ gezogen.

Der Optimierungsgedanke für die Phase nach Verschluss wird weiter gefasst als nach dem rein radiologisch orientierten ALARA-Prinzip. Hier stehen Gesichtspunkte der Langzeitsicherheit, meist im Sinne der Robustheit der Endlagersysteme im Hinblick auf die Rückhaltung der Radionuklide oder der Reduktion der Wahrscheinlichkeit menschlichen Eindringens in das verschlossene Endlagerbergwerk im Vordergrund. Beispiele sind die Leistungsfähigkeit der Komponenten im Hinblick auf die Sicherheitsfunktionen (Frankreich) oder die im Fall der Schweiz betonte Relevanz der Standzeit der Abfallbehälter. In Großbritannien und Japan soll zusätzlich dem vor allem in Schweden stark favorisierten Optimierungsprinzip BAT ("Best Available Technique") gefolgt werden. Hierunter sind Maßnahmen (technische, konzeptionelle und organisatorische) zu verstehen, die zu einer robusteren Isolationswirkung des Barrierensystems führen. Dies ist nicht zwingend die modernste Technik, bewährte Technik kann aus Gründen der Robustheit vorgezogen werden.

Die kanadische Richtlinie G-320 fordert abweichend von Obenstehendem für beide Zeitphasen eine Optimierung im Sinne des ALARA-Prinzips. Für die Betriebsphase wird eine deutliche Unterschreitung des radiologischen Schutzkriteriums von 1 mSv/a als Optimierungsziel festgesetzt. Für die Phase nach Verschluss wird gefordert, einen aus den ICRP-Empfehlungen übernommenen radiologischen Optimierungszielwert von 0,3 mSv/a anzustreben. Im Fall der nachgewiesenen Unterschreitung dieses "design targets" gilt das Optimierungsgebot als erfüllt. Da hierdurch das regulatorisch vorgegebene Dosislimit von 1 mSv/a deutlich unterschritten wird, werden nach G-320 auch Unsicherheiten bei Langzeitprognosen oder hinsichtlich zukünftiger menschlicher Hand-

lungen sowie die Möglichkeiten der Exposition durch weitere künstliche radiologische Quellen in der Umgebung des Endlagers durch die Optimierung konzeptionell mit abgedeckt.

In allen Ländern wird Optimierung im Sinne einer iterativen Vorgehensweise verstanden und ist in aller Regel an einen schrittweisen Endlagerentwicklungsprozess gekoppelt. Zu jedem Haltepunkt soll beurteilt werden, ob das Sicherheitskonzept unter Berücksichtigung des jeweiligen Standes von Wissenschaft und Technik bezüglich der oben angeführten Optimierungsziele weiter verbessert werden kann.

### **“Stepwise approach“**

In allen untersuchten Ländern wird ein in Teilschritte gegliederter Endlagerentwicklungsprozess – engl.: “stepwise approach“ – vollzogen. Zu jedem Teilschritt müssen jeweils aktuelle Sicherheitsbewertungen vorgelegt werden. Der “stepwise approach“ ist an den Haltepunkten, vor Beginn eines neuen Schrittes mit der Überprüfung und der Verbesserung des jeweils erreichten Status der Sicherheit (Optimierung) verbunden. Die Schritte sind inhaltlich unterschiedlich definiert, sie umfassen in der Regel die Hauptstufen: Festlegung des Standorts und des Endlagerkonzeptes, Errichtung, Betrieb ggf. inkl. periodischer Sicherheitsüberprüfungen, Verschluss und ggf. institutionelle Maßnahmen nach Verschluss. In Frankreich, Kanada, der Schweiz, Großbritannien und mutmaßlich zukünftig auch in Japan werden konkret bei allen Genehmigungsschritten Sicherheitsbewertungen auf der Basis eines aktuellen “safety case“ gefordert. In allen 5 Ländern ist eine Öffentlichkeitsbeteiligung am Endlagerentwicklungsprozess vorgesehen, auch wenn diese nicht immer Gegenstand der hier ausgewerteten Regelwerke ist, sondern in der übergeordneten Gesetzgebung festgeschrieben wurde.

In Frankreich ist - nach Vorliegen der per Gesetz zu bestätigenden Genehmigungsvoraussetzungen - die Sicherheit des Endlagers während der einzelnen Schritte des Entwicklungsprozesses fortlaufend zu bewerten. Zudem ist der Verschluss des Endlagers durch ein Gesetz zu autorisieren. In Kanada ist für jede Phase eines Endlagers (Standort, Errichtung, Betrieb, Stilllegung/Verschluss, Entlassung aus der aktiven Kontrolle) eine separate Genehmigung erforderlich. Diese wird nach Vorlage von dokumentierten Sicherheitsbewertungen (z. B. “preliminary safety analysis report“ für die Errichtungs- resp. “a final safety analysis report“ für die Betriebsphase) erteilt. In der Schweiz sind mit den Bewilligungsgesuchen (Rahmen-, Bau- und Betriebsbewilligung) und mit dem Gesuch zum Verschluss des Endlagers jeweils entsprechende Sicher-

heitsnachweise für die Betriebsphase und für die Nachverschlussphase vorzulegen. Diese sind in Sicherheitsberichten zu dokumentieren. Die Sicherheitsnachweise sind zudem periodisch zu ergänzen. Es wird konkret gefordert, bei jedem Schritt der Realisierung des Endlagers für jede sicherheitsrelevante Entscheidung verschiedene Alternativen und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit in qualitativer Weise gegeneinander abzuwägen und eine für die Sicherheit insgesamt günstige Entscheidung zu fällen. In Großbritannien wird eine "staged authorisation" mit festgeschriebenen Haltepunkten und Entscheidungen angestrebt, an denen jeweils eine Genehmigung erteilt wird. Diese Vorgehensweise muss allerdings noch durch ein Gesetz in Kraft gesetzt werden. Es ist geplant, zukünftig vor Beginn der obertägigen Standortuntersuchung eine erste Teilgenehmigung ("environmental permit") zu fordern, weitere Teilgenehmigungen werden an den nachfolgenden Haltepunkten erteilt. Der Endlagerentwicklungsprozess soll in ständigem Dialog zwischen Genehmigungsbehörde und Antragsteller unter Einbezug der Planungsbehörde und der potenziellen Standortgemeinde sowie weiterer Stakeholder von statten gehen. Basis für jede Genehmigung ist ein jeweils aktualisierter "environmental safety case". Dieser ist – zielgruppenspezifisch – in adäquater Weise zu dokumentieren. In Japan soll der Antragsteller zukünftig verpflichtet werden, während der Zeit der aktiven Kontrolle in regelmäßigen Abständen komplette Sicherheitsüberprüfungen zur Bestätigung der Aufrechterhaltung des Sicherheitssystems vorzulegen. Gemäß den Forderungen des "Specified Radioactive Waste Disposal Act" aus dem Jahr 2000 ist auch in Japan ein stufenweiser Endlagerentwicklungsprozess mit Haltepunkten vorgesehen.

### **Sicherheits- und Qualitätsmanagement**

Für alle Länder bis auf Japan wird ein Sicherheits- und Qualitätsmanagementsystem gefordert. Diese Programme werden für alle Phasen der Endlagerung (Projektierung, Bau, Betrieb, Verschluss) gefordert, wobei u. a. auch Festlegungen für die Bereiche qualifiziertes Personal, effektive Organisation, Zuverlässigkeit der Verfahrensschritte, bereitgestellte Informationen einzubeziehen sind (Kanada). Diese Systeme sollen international anerkannten Standards entsprechen und soweit praktikabel Ermessensentscheide als solche festhalten (Schweiz). Es sollen für die Programme anerkannte QS-Maßnahmen zum Einsatz kommen und auch für den Betrieb des Untertagelabors, die Überwachung der Produktion der Abfallgebinde, die Datenerhebung (Standort und Labor) sowie die Sicherheitsbewertung angewendet werden (Frankreich). Bei der Realisierung der Programme soll beste Ingenieurpraxis zur Anwendung kommen, die Maßnahmen müssen einer ständigen internen und externen Kontrolle unterliegen sowie der

Zugang zu den Quelldaten jederzeit möglich sein. Insbesondere die technischen Arbeiten sind gegebenenfalls einem "peer review" zu unterziehen (Großbritannien).

Alle Informationen sind zu dokumentieren. Insbesondere sind die Ergebnisse für die Schritte der jeweiligen Phasen zu bewerten.

## 8 **Literatur**

- /AEC 85/ Atomic Energy Control Board / Commission de contrôle de l'énergie atomique:  
Regulatory Policy Statement "Deep geological disposal of nuclear fuel waste: Background information and regulatory requirements regarding the concept assessment phase; Regulatory Document R-71; January 29, 1985
- /AEC 87/ Atomic Energy Control Board / Commission de contrôle de l'énergie atomique:  
Regulatory Guide "Geological considerations in siting a repository for underground disposal of high-level radioactive waste"; Regulatory Document R-72; September 21, 1987
- /AND 01a/ Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA):  
DOSSIER 2001 ARGILE. Sur l'avancement des études & recherches relatives à la faisabilité d'un stockage de déchets à haute activité et à vie longue en formation géologique profonde. Rapport de synthèse. Décembre 2001
- /AND 01b/ Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA):  
DOSSIER 2001 ARGILE. Sur l'avancement des études & recherches relatives à la faisabilité d'un stockage de déchets à haute activité et à vie longue en formation géologique profonde. Rapport de synthèse - Partie B. Compléments scientifiques et techniques. Décembre 2001
- /AND 05/ Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA):  
DOSSIER 2005 ARGILE. Evaluation of the feasibility of a geological repository in an argillaceous formation. Châtenay-Malabry,  
[http://www.andra.fr/interne.php3?id\\_rubrique=161](http://www.andra.fr/interne.php3?id_rubrique=161)
- /AND 09/ Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA): Towards a geological disposal: The Meuse Haute-Marne Site. Presentation to ESK and GPD, May 28, 2009.

- /ASN 08/ Autorité de sûreté nucléaire:  
Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde,  
[http://www.asn.fr/sites/default/files/files/guide\\_RFSIII\\_2\\_fV1\\_2\\_.pdf](http://www.asn.fr/sites/default/files/files/guide_RFSIII_2_fV1_2_.pdf)
- /BFE 08/ Bundesamt für Energie (BFE):  
Gemeinsam einen Standort finden –  
Das Auswahlverfahren für geologische Tiefenlager, September 2008
- /BFE 09/ Bundesamt für Energie (BFE):  
Unabhängiger Beirat begleitet Auswahlverfahren für geologische Tiefenlager  
[www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/](http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/)  
01.05.2009
- /BGB 98/ Bundesgesetzblatt:  
Gesetz zu dem Gemeinsamen Übereinkommen vom 5. September 1997 über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle (Gesetz zu dem Übereinkommen über nukleare Entsorgung) vom 13. August 1998 (BGBl. II Nr. 31 S. 1752)
- /CNS 00/ Canadian Nuclear Safety Commission / Commission canadienne de sûreté nucléaire (CNSC – CCSN):  
Class I Nuclear Facilities Regulations; May 31, 2000
- /CNS 04a/ Canadian Nuclear Safety Commission / Commission canadienne de sûreté nucléaire (CNSC – CCSN):  
Regulatory Policy P-290 “Regulatory Policy: Managing Radioactive Waste“;  
July 2004
- /CNS 04b/ Canadian Nuclear Safety Commission / Commission canadienne de sûreté nucléaire (CNSC – CCSN):  
Regulatory Guide G-129, Revision 1 “Keeping Radiation Exposures and Doses ‘As Low as Reasonably Achievable (ALARA)’”, October 2004

- /CNS 04c/ Canadian Nuclear Safety Commission / Commission canadienne de sûreté nucléaire (CNSC – CCSN):  
Environmental Monitoring Program at Class I Nuclear Facilities and Uranium Mines and Mills, Draft Regulatory Standard , Issued for public comment, July 2004
- /CNS 06a/ Canadian Nuclear Safety Commission / Commission canadienne de sûreté nucléaire (CNSC – CCSN):  
Regulatory Guide G-320 “Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management”; December 2006
- /CNS 06b/ Canadian Nuclear Safety Commission / Commission canadienne de sûreté nucléaire (CNSC – CCSN):  
Regulatory Standard S-296 “Environmental Protection Policies, Programs and Procedures at Class I Nuclear Facilities and Uranium Mines and Mills; March 2006
- /CNS 09/ Canadian Nuclear Safety Commission / Commission canadienne de sûreté nucléaire (CNSC – CCSN):  
Environmental Assessment Screening Process at CNSC INFO-0774;  
January 2009
- /DAN 09/ Géraldine Dandrieux (ASN) : Persönliche Mitteilung.
- /DEF 08/ Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) and Welsh Assembly Government (WAG):  
Consultation on the Statutory Guidance to the Environment Agency concerning the regulation of radioactive discharges into the environment.  
June 2008, Defra, London
- /DJC 00/ Department of Justice Canada / Ministère de la Justice Canada:  
Radiation Protection Regulations, SOR/2000-203; May 31, 2000
- /DSIN 91/ Direction de la sûreté des installations nucléaires:  
Règle Fondamentale de Sûreté III.2.f, Définition des objectifs à retenir dans les phases d'études et de travaux pour le stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde afin d'assurer la sûreté après la période d'exploitation du stockage - Juin 1991.

- /EA 08a/ Environment Agency (EA):  
Assessment Guide No 1: Assessment of Best Available Techniques (BAT),  
Consultation Draft, June 2008
- /EA 08b/ Environment Agency (EA):  
Radioactive Substances Regulation Environmental Principles.  
Consultation Draft, June 2008.
- /EA 09/ Environment Agency (EA), Northern Ireland Environment Agency (NIEA):  
Geological Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes:  
Guidance on Requirements for Authorisation, February 2009
- /EAH 03/ Environment Agency (EA) and the Health and Safety Executive (HSE):  
Working Together on Nuclear Sites, January 2003
- /EC 96/ Kommission der Europäischen Gemeinschaften:  
Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung  
der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der  
Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende  
Strahlen  
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 159, 29. Juni 1996
- /ENSI 08a/ Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI):  
Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen, Periodische Berichterstat-  
tung der Kernanlagen ENSI-B02/d, Ausgabe September 2008, Revision 1  
vom 21. Dezember 2008
- /ENSI 08b/ Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI):  
Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen, Meldungen der Kernanla-  
gen ENSI-B03/d, Ausgabe September 2008, Revision 1 vom 21. Dezember  
2008
- /ENSI 09a/ Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI):  
Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03, Spezifische  
Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an  
den Sicherheitsnachweis, Ausgabe April 2009

- /ENSI 09b/ Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI):  
Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-G03, Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Ausgabe April 2009
- /ENSI 09c/ Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft:  
Bundesgesetz über das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSIG) vom 22. Juni 2007 (Stand am 1. Januar 2009)
- /ENSI 09d/ Der Schweizerische Bundesrat:  
Verordnung über das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSIV) vom 12. November 2008 (Stand am 1. Januar 2009)
- /GOV 08/ Government of Canada / Gouvernement du Canada:  
Canadian National Report for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Third Report; October 2008
- /GRS 08/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:  
SR 2522: Analyse und Auswertung des Ablaufes bzw. der Planung internationaler Endlagerprojekte und das Zusammenspiel beteiligter Institutionen, Länderbericht Kanada; Mai 2008
- /HMSO 65/ Her Majesty's Stationery Office (HMSO):  
Nuclear Installations Act 1965: Elizabeth II. Chapter 57, HMSO 1965, ISBN 0108502163
- /HMSO 93/ Her Majesty's Stationery Office (HMSO):  
Radioactive Substances Act 1993: Elizabeth II. Chapter 12, HMSO 1993, ISBN 0105412937
- /HOO 03/ Hooper, A.; Beauheim, R.; Hedin, A.; Johnson, L.; Lalieux, P.; Machiels, A.; Röhlig, K.-J.; Pescatore, C.: The French R&D Programme on Deep Geological Disposal of Radioactive Waste. An International Peer Review of the "Dossier 2001 Argile". OECD/NEA, Paris 2003  
Programme français de R-D sur le stockage géologique de déchets radioactifs. Revue internationale par des pairs du Dossier 2001 Argile. OCDE/AEN, Paris 2003

- /HOO 06/ A. Hooper, R. Beauheim, M. Gascoyne, A. Hedin, L. Johnson, K. Kühn, P. Lalioux, A. Machiels, C. Pescatore, K. J. Röhlig: Safety of Geological Disposal of High-level and Long-lived Radioactive Waste in France. An International Peer Review of the "Dossier 2005 Argile" Concerning Disposal in the Callovo-Oxfordian Formation. OECD, Paris, 2006, NEA No. 6178, ISBN 92-64-02299-6,  
[www.nea.fr/html/rwm/reports/2006/nea6178-argile.pdf](http://www.nea.fr/html/rwm/reports/2006/nea6178-argile.pdf)
- /HPA 09/ Health Protection Agency (HPA):  
HPA advice on application of ICRP's 2007 recommendations to the UK  
(in publication)
- /HSE 74/ Health and Safety Executive (HSE):  
Health and Safety at Work etc. Act 1974
- /HSK 03a/ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen:  
Richtlinie für schweizerische Kernanlagen, Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen HSK-R-50/d, November 1993
- /HSK 03b/ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen:  
Richtlinie für schweizerische Kernanlagen, Strahlenschutzziele im Normalbetrieb von Kernanlagen HSK-R-11/d, Mai 2003
- /HSK 03c/ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen:  
Richtlinie für schweizerische Kernanlagen, Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen HSK-R-49/d, KE-R-15/d,  
Dezember 2003
- /HSK 04/ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen:  
Richtlinie für schweizerische Kernanlagen, Anforderungen an die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle HSK-R-29/d, März 2004
- /HSK 08/ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen:  
Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen, Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen G14/d, Ausgabe: Februar 2008
- /HSK 93/ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen:  
Richtlinie für schweizerische Kernanlagen, Schutzziele für die Endlagerung radioaktiver Abfälle HSK-R-21/d, November 1993

- /HSK 95/ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen:  
Richtlinie für schweizerische Kernanlagen, Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Institutes HSK-R-07/d, Juni 1995
- /IAE 02/ International Atomic Energy Agency (IAEA):  
Japan: Disposal of HLW, December 1, 2002
- /IAE 95/ International Atomic Energy Agency (IAEA):  
IAEA Safety Series No.111-F Safety Fundamentals - The Principles of Radioactive Waste Management, 1995
- /IAE 95/ International Atomic Energy Agency (IAEA):  
IAEA Safety Series No.111-F Safety Fundamentals - The Principles of Radioactive Waste Management, 1995
- /IAEA 06a/ International Atomic Energy Agency (IAEA)  
Geological Disposal of Radioactive Waste, Safety Requirements No. WS R-4, International Atomic Energy Agency, 2006
- /IAEA 06b/ International Atomic Energy Agency (IAEA):  
Fundamental Safety Principles, Safety Fundamentals No. SF-1, 2006
- /IAEA 98/ International Atomic Energy Agency (IAEA):  
The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, NFCIRC 225/Rev. 4 (corrected), 1998
- /ICRP 91/ International Commission on Radiological Protection (ICRP):  
ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection  
Annals of the ICRP, Volume 21(1-3), 1991
- /ICRP 99/ International Commission on Radiological Protection (ICRP):  
Radiation Protection Recommendation as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste  
ICRP Publication 81, 1999
- /ICRP 07/ International Commission of Radiological Commission (ICRP):  
The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, 2007

- /JCV 08/ Government of Japan:  
Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the  
Safety of Radioactive Waste Management, National Report of Japan for the  
third Review Meeting, October 2008
- /KEG 09/ Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft:  
Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003  
(Stand: 1. Januar 2009)
- /KEV 09/ Der Schweizerische Bundesrat:  
Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004  
(Stand: 1. Januar 2009)
- /LOI 06a/ JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE:  
Loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable  
des matières et déchets radioactifs  
[http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo\\_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20060629&numTexte=1&pageDebut=09721&pageFin=09727](http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20060629&numTexte=1&pageDebut=09721&pageFin=09727)
- /LOI 06b/ JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE:  
Loi n°2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité  
en matière nucléaire,  
[http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo\\_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20060614&numTexte=2&pageDebut=08946&pageFin=08959](http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20060614&numTexte=2&pageDebut=08946&pageFin=08959)
- /LOI 91/ JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE:  
LOI no 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la ges-  
tion des déchets radioactifs  
[http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo\\_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=19920101&numTexte=&pageDebut=00010&pageFin=](http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=19920101&numTexte=&pageDebut=00010&pageFin=)
- /NEA 06/ Nuclear Energy Agency (NEA):  
National Framework for Management and Regulation of Radioactive Waste  
and Decommissioning, Japan  
Internet: [www.nea.fr/html/rwm/rf/japan.pdf](http://www.nea.fr/html/rwm/rf/japan.pdf)  
05.10.2006

- /NEA 08/ Nuclear Energy Agency (NEA):  
Radioactive Waste Management and Decommissioning in Canada; March 2008
- /NEA 07/ Nuclear Energy Agency (NEA):  
Regulating the Long-term Safety of Geological Disposal. Towards a Common Understanding of the Main Objectives and Bases of Safety Criteria. NEA No. 6182, OECD 2007
- /NSC 01/ Nuclear Safety Commission of Japan (NSC):  
The Fundamental Guidelines of Licensing Review of Land Disposal Facility of Low-Level Radioactive Waste”, Mar. 17, 1988, Jan. 7, 1993, and Mar. 29, 2001, as amended
- /NSC 04/ Nuclear Safety Commission of Japan (NSC):  
Commonly Important Issues for the Safety Regulations of Radioactive Waste Disposal, June 10, 2004
- /NSC 07/ Nuclear Safety Commission of Japan (NSC):  
Basic Policy for Safety Regulations Concerning Land Disposal of Low-Level Radioactive Waste (Interim Report), July 12, 2007, Appendix
- /NWM 05/ Nuclear Waste Management Organization / Société de gestion des déchets nucléaires:  
Choosing a Way Forward The Future Management of Canada’s Used Nuclear Fuel  
November, 2005
- /NWM 07/ Nuclear Waste Management Organization / Société de gestion des déchets nucléaires:  
Schreiben von NWMO an den Minister des NRCan vom 14. Juni 2007
- /NWM 09a/ Nuclear Waste Management Organization / Société de gestion des déchets nucléaires:  
Implementing Adaptive Phased Management 2009 to 2013; January 2009
- /NWM 09b/ Nuclear Waste Management Organization / Société de gestion des déchets nucléaires:  
Moving Forward Together: Designing the Process for Selecting a Site, Invitation to Review a Proposed Process for Selecting a Site; May 2009

- /PNG 07/ Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs  
(PNGMDR) 2007 – 2009 :  
<http://www.asn.fr/sites/default/files/files/pngmdr.pdf>
- /RPG 08/ Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG) vom 22. Juni 1979 (Stand am  
1. August 2008)
- /RPV 07/ Verordnung über die Raumplanung (RPV) vom 28. Juni 2000 (Stand am 1.  
September 2007)
- /RRL 07/ Act of the Regulation of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and  
Reactors (Reactor Regulation Law) (June 10, 1957, Act No. 166), überar-  
beitet 2007
- /SFGV 08/ Der Schweizerische Bundesrat:  
Safeguardsverordnung vom 18. August 2004  
(Stand: 1. Januar 2008)
- /STSG 07/ Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft:  
Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1999  
(Stand: 1. Januar 2007)
- /STSV 09/ Der Schweizerische Bundesrat:  
Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994  
(Stand: 1. Januar 2009)
- /TSO 00/ The Stationery Office Limited:  
Nuclear Safeguards Act 2000: Elizabeth II. Chapter 5,  
ISBN 0105405000
- /TSO 08/ The Stationery Office Limited:  
Managing Radioactive Waste Safely  
A Framework for Implementing Geological Disposal  
Presented to Parliament by the Secretary of State for Environment, Food  
and Rural Affairs by Command of Her Majesty, June 2008,  
ISBN 9780101738620
- /UVEK 08/ Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungs-  
massnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008  
(Stand: 1. Mai 2008)

# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



**Bundesamt für Strahlenschutz**