



# Vergleich internationaler Endlagertechnologien für schwach und mittelaktive radioaktive Abfälle



**Ein Überblick**

AGES - GESCHÄFTSFELD STRAHLENSCHUTZ

Juli 2021

# Inhalt

---

1	Einleitung.....	6
2	International übliche Klassifizierung radioaktiver Abfälle .....	7
3	Internationale Organisationen, Übereinkommen und Prinzipien.....	10
3.1	Internationale Organisationen .....	10
3.1.1	International Commission on Radiological Protection (ICRP).....	10
3.1.2	Internationale Atomenergieorganisation.....	11
3.1.3	OECD Nuclear Energy Agency (NEA).....	12
3.1.4	Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) .....	12
3.1.5	European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG) .....	13
3.2	Internationale Übereinkommen .....	13
3.2.1	Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management.....	13
3.2.2	Espoo Convention on Environmental Impact Assessment (EIA) in a Transboundary Context .....	14
3.2.3	Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972 .....	15
3.3	Grundsätze für die Entsorgung radioaktiver Abfälle .....	15
3.4	Anforderungen an Strahlenschutz und nukleare Sicherheit zur Entsorgung .....	18
4	Allgemeine Beschreibung von Endlagereinrichtungen für schwach und mittelaktive radioaktive Abfälle.....	19
4.1	Design und Standort von Endlagern.....	19
4.2	Abfallarten und Anforderungen an die Abfallannahme .....	20
4.3	Sicherheitsbewertungen.....	21
5	Auswahl von Endlagern für die Diskussion.....	23
5.1	Management radioaktiver Abfälle in Spanien – Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA).....	24
5.2	Management radioaktiver Abfälle in Frankreich – Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) .....	27
5.3	Management radioaktiver Abfälle in Großbritannien – Nuclear Decommissioning Authority (NDA).....	29

5.4	Management radioaktiver Abfälle in Finnland – Posiva Oy .....	32
5.5	Management radioaktiver Abfälle in Schweden – Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) .....	33
6	Technologische Aspekte .....	34
6.1	El Cabril in Spanien .....	34
6.1.1	Lage und geologische Bedingungen.....	35
6.1.2	Lager-Design.....	35
6.1.3	Abfallverpackungen und Abfallmenge .....	36
6.1.4	Pläne für die Schließung .....	37
6.1.5	Sicherheitsbewertungen .....	37
6.1.6	Genehmigung, Lizenzierung, Bewilligung .....	38
6.2	Entsorgungsanlage Centre de l'Aube in Frankreich .....	39
6.2.1	Lager-Design.....	39
6.2.2	Abfallverpackungen und Abfallmengen .....	40
6.2.3	Sicherheitsbewertungen .....	41
6.2.4	Pläne für die Schließung .....	41
6.2.5	Genehmigung, Lizenzierung, Bewilligung .....	41
6.3	Low Level Waste Repository nahe Drigg in Großbritannien.....	42
6.3.1	Lage und geologische Bedingungen.....	42
6.3.2	Lager-Design.....	43
6.3.3	Abfallverpackungen und Abfallmengen .....	44
6.3.4	Sicherheitsbewertungen .....	45
6.3.5	Pläne für die Schließung .....	46
	Genehmigung, Lizenzierung, Bewilligung .....	46
6.4	Rokkasho in Japan .....	47
6.4.1	Lage und geologische Bedingungen.....	48
6.4.2	Lager-Design.....	48
6.4.3	Abfallverpackungen und Abfallmengen .....	49
6.4.4	Sicherheitsbewertungen .....	49
6.4.5	Pläne für die Schließung .....	50
6.5	VLJ Repository in Finland .....	50

6.5.1	Lage und geologische Bedingungen.....	51
6.5.2	Lager-Design.....	51
6.5.3	Abfallverpackungen und Abfallmengen .....	51
6.5.4	Sicherheitsbewertungen .....	52
6.5.5	Pläne für die Schließung.....	52
6.5.6	Genehmigung, Lizenzierung, Bewilligung .....	53
6.6	SFR in Schweden .....	53
6.6.1	Lage und geologische Bedingungen.....	53
6.6.2	Lager-Design.....	54
6.6.3	Abfallverpackungen und Abfallmengen .....	55
6.6.4	Sicherheitsbewertungen .....	55
6.6.5	Pläne für die Schließung.....	56
6.6.6	Genehmigung, Lizenzierung, Bewilligung .....	56
7	Wirtschaftliche Aspekte .....	58
7.1	Spanien.....	58
7.2	Frankreich .....	59
7.3	Großbritannien.....	59
7.4	Finnland .....	59
7.5	Schweden.....	60
8	Gesellschaftspolitische Aspekte .....	60
8.1	Spanien.....	60
8.1.1	Der Standortprozess .....	60
8.1.2	Die Rolle von Politikern und der öffentlichen Meinung .....	62
	Information und Kommunikation .....	63
8.2	Frankreich .....	65
8.2.1	Der Standortprozess .....	65
8.2.2	Die Rolle von Politikern und der öffentlichen Meinung .....	67
8.2.3	Information und Kommunikation.....	68
8.3	Großbritannien.....	69
8.3.1	Der Standortprozess .....	69
8.3.2	Die Rolle von Politikern und der öffentlichen Meinung .....	70

8.3.3	Information und Kommunikation.....	70
8.4	Finnland .....	71
8.4.1	Der Standortprozess .....	71
8.4.2	Die Rolle von Politikern und der öffentlichen Meinung .....	71
8.4.3	Information und Kommunikation.....	72
8.5	Schweden.....	72
8.5.1	Der Standortprozess .....	72
8.5.2	Die Rolle von Politikern und der öffentlichen Meinung .....	73
8.5.3	Information und Kommunikation.....	74
9	Vergleichende Diskussion der nationalen Endlager .....	74
9.1	Lage der Standorte und geologische Bedingungen .....	75
9.2	Lager-Design .....	76
9.3	Barrieren und technische Strukturen .....	76
9.4	Lager-Größe .....	78
9.5	Abfall und Verpackung.....	79
9.6	Sicherheitsbewertungen.....	79
9.7	Verschluss .....	80
9.8	Kostenvergleich.....	81
	Ausblick.....	82
	Anhang A – Liste der bestehenden Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Stand 2020) .....	83
	Glossar .....	88
	Tabellenverzeichnis .....	92
	Abbildungsverzeichnis.....	93
	Literatur .....	94

# 1 Einleitung

---

Es besteht ein internationaler Konsens über wichtige Grundsätze für eine möglichst sichere endgültige Entsorgung radioaktiver Abfälle. Für schwachaktive Abfälle gibt es jedoch verschiedene Lösungen und Designs.

Die Auswahl einer Entsorgungsoption hängt von vielen technischen und administrativen Faktoren ab, zB. der Entsorgungspolitik für radioaktive Abfälle, nationaler gesetzlicher und behördlicher Anforderungen, Abfall (Herkunft, Merkmale und Inventar), klimatische Bedingungen und Standortmerkmale und nicht zuletzt des gesellschaftlich für notwendig gehaltenen Sicherheitsstandards.

Dieser Bericht konzentriert sich auf eine übergreifende Beschreibung einiger ausgewählter nationaler Lösungen für die Entsorgung von radioaktiven Abfälle wie sie auch in Österreich anfallen. Lösungen, die speziell für die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle (Brennstäbe) entwickelt werden, sind nicht Gegenstand der Diskussion. Ziel dieses Berichts ist einige vorhandene und geplante Endlager für die Entsorgung zu beschreiben und zu diskutieren, warum bestimmte Optionen und Lösungen ausgewählt wurden. Die internationale Erfahrung wird zusammengefasst und, soweit in diesem Rahmen möglich, spezifische Merkmale der Beschreibungen verglichen. Die Beschreibungen konzentrieren sich dabei auf das Design des Endlagers, unter besonderer Berücksichtigung der natürlichen und technischen Barrieren. Die Herkunft der zu entsorgenden Abfälle, Abfallformen, Nuklide und Aktivitätsgehalte werden ebenfalls beschrieben sowie die Auslegung der zu berücksichtigenden Zeiträume und die gewählten Barrieren gegen einen Austritt der Aktivität während dieser Zeiträume.

Im Fokus steht wie die verantwortliche Organisation derzeit mit diesem Thema umgeht, einschließlich technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftspolitischer Aspekte. Das verwendete Material stammt hauptsächlich aus Veröffentlichungen, Vorträgen und persönlichen Gesprächen mit den Unternehmen/Behörden selbst. Der Bericht beschreibt die Entwicklung und Situation im jeweiligen Land also aus Sicht der Unternehmen bzw. der zuständigen Behörden.

Der Umfang dieses Berichts lässt jedoch keine Bewertung zu, wie erfolgreich und effektiv die Unternehmen und Behörden ihre Pläne und Vorhaben umgesetzt haben. Der Bericht enthält auch nicht die Ansichten anderer nationaler interessierter Gruppen in Bezug auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle oder ihre Meinung zum Umgang der Behörden/Firmen mit dem Thema Radioaktivität bzw. radioaktive Abfälle.

Folgende Fragestellungen werden versucht zu beantworten:

- Technologische Aspekte
  1. Welche Technologie wird verwendet? Wie wird Forschung und Entwicklung gefördert und durchgeführt?
  2. Wohin soll der Abfall gebracht werden? Nach welchen Kriterien sucht jedes Land?

3. Wie ist die Sicherheit gewährleistet? Wer kann eine Lizenz für Tätigkeiten mit radioaktivem Abfall beantragen und wer erteilt die Lizenz?
- Wirtschaftliche Aspekte
    1. Wie diskutieren die betreffenden Länder die zeitlichen Aspekte bei Verzögerungen und ähnliches?
    2. Wie werden die wirtschaftlichen und finanziellen Aspekte des Prozesses behandelt? Woher kommt die Finanzierung
  - Gesellschaftspolitische Aspekte
    1. Welche Rolle spielen politische Entscheidungsträger und inwiefern ist gesellschaftliche Akzeptanz Teil der Prozess? Welche Rolle spielt die öffentliche Meinung?
    2. Wie flexibel ist der Entscheidungsprozess und können Entscheidungen revidiert werden?
    3. Hat die Öffentlichkeit Vertrauen in die Branche und die Entscheidungsträger?
    4. Welche institutionellen Probleme treten auf?
  - Beteiligung der Öffentlichkeit
    1. Gibt es öffentliche Beteiligung auf allen Ebenen?
    2. Könnte es Phasen im Prozess geben, in denen die Beteiligung der Öffentlichkeit negativ ist oder positiven Einfluss auf das Endergebnis hat?
    3. Wie funktionieren die Kommunikations- und Informationsprozesse? Können sie verbessert oder geändert werden?

Jede nationale Politik zur Entsorgung radioaktiver Abfälle wird von einer Reihe von Faktoren, wie politischer Kultur, geschichtliche Aspekte und geografische Faktoren bestimmt. Es ist in diesem Bericht nicht möglich alle Faktoren, die das nationale Abfallmanagement geprägt haben und weiterhin prägen, erschöpfend zu diskutieren. Dies bedingt, dass sich die Beschreibung nur auf jene Kontextfaktoren konzentriert, die notwendig sind, die unterschiedlichen Prozesse in jedem Land zu verstehen. Das Ziel ist jedoch nicht, die unterschiedlichen nationalen Situationen zu erklären, sondern die laufenden Arbeiten und Pläne zur Umsetzung der Entsorgung zu beschreiben. Diese Beschreibung ist als Diskussionsgrundlage gedacht.

## 2 International übliche Klassifizierung radioaktiver Abfälle

---

Radioaktive Abfälle entstehen durch den Betrieb von Kernkraftwerken (KKW), Forschung und Anwendung nuklearer Techniken in der Industrie und im medizinischen Bereich. Alle Länder mit solchen Aktivitäten produzieren folglich radioaktive Abfälle. Die Radionuklide im Abfall können entweder durch direkte Strahlung für Mensch und Umwelt schädlich sein oder durch Aufnahme, wenn die Radionuklide an die Umwelt abgegeben werden. Wesentliches Grundprinzip beim Management von radioaktiven Abfällen ist es daher, Mensch und Umwelt

vor Strahlenexposition schützen. Dies kann erreicht werden durch Isolierung des radioaktiven Abfalls von Mensch und Umwelt durch die Entsorgung in geeigneten Endlagern. Entwürfe für solche Endlager stehen in direktem Zusammenhang mit dem Aktivitätsgrad des Abfalls und des Abfallvolumens und der Menge an langlebigen Radionukliden.

Bis 2009 wurden für die meisten in dieser Studie diskutierten Endlager radioaktive Abfälle eine Klassifizierung basierend auf den Eigenschaften Wärmeproduktion, Oberflächendosisraten und Beständen von langlebigen Radionuklide verwendet:

- Hochaktiver Abfall:
  - i) die hochradioaktive Flüssigkeit, die hauptsächlich Spaltprodukte sowie einige Aktiniden enthält, die bei der chemischen Wiederaufbereitung von bestrahltem Kernbrennstoff aus dem ersten Extraktionszyklus und die damit verbundenen Abfallströme abgetrennt werden
  - ii) Beliebige andere Abfälle mit Aktivitäten, die intensiv genug sind, um erhebliche Wärmemengen als Folge des radioaktiven Zerfallsprozesses zu erzeugen
  - iii) Verbrauchte Brennelemente, wenn sie als Abfall deklariert werden
  
- Mittelaktiver Abfall:

Abfälle, die aufgrund ihres Radionuklidgehalts eine Abschirmung erfordern, jedoch aufgrund der geringen Wärmeproduktion ( $<2 \text{ kW/m}^3$ ) durch den radioaktiven Zerfall wenig oder keine Vorkehrungen für die Wärmeableitung während der Handhabung und Transport benötigen.

Mittelaktive Abfälle umfassen typischerweise Harze, chemische Schlämme und Metallbrennstoffhüllen sowie kontaminierte Materialien aus der Stilllegung des Reaktors bzw. der Dekommissionierung von Forschungseinrichtungen. Kleinere Gegenstände und nicht feste Stoffe können zur Entsorgung in Beton oder Bitumen verfestigt werden. Es macht durchschnittlich  $<10\%$  des Volumens und wenige Prozent der Radioaktivität aller radioaktiven Abfälle aus.
  
- Schwachaktiver Abfall:

Abfälle, die aufgrund ihres geringen Radionuklidgehalts während der normalen Handhabung und des Transports nicht abgeschirmt werden müssen. Schwachaktive Abfälle wurden üblicherweise mit einer Aktivität von nicht mehr als 4 Giga-Becquerel pro Tonne (GBq/t) Alpha-Aktivität oder 12 GBq/t Beta-Gamma-Aktivität charakterisiert. Schwachaktive Abfälle werden in medizinischen und industriellen Anwendungen erzeugt und bestehen typischerweise aus Papier, Lappen, Werkzeugen, Kleidung, Filtern usw., die geringe Mengen meist kurzlebiger Radioaktivität enthalten. Um das Volumen zu reduzieren, werden schwachaktive Abfälle häufig vor der Entsorgung verdichtet oder verbrannt. Diese Kategorie an Abfällen macht in allen Ländern den größten Anteil des Volumens an Abfällen, aber nur wenige Prozent der Aktivität aller radioaktiven Abfälle aus.

Zu den schwachaktiven Abfällen zählen auch solche, die radioaktive Stoffe in einer Menge enthalten, die aufgrund ihrer niedrigen Schädigungswahrscheinlichkeit als nicht

schädlich für Menschen oder die Umwelt angesehen werden. Es handelt sich dabei hauptsächlich um kontaminiertes Material wie Beton, Gips, Ziegel, Metall, Ventile, Rohrleitungen usw., das während der Sanierungs- oder Demontearbeiten an Industrie- und Forschungsstandorten anfällt. Andere Industrien wie Lebensmittelverarbeitung, Chemie, Stahl usw. produzieren aufgrund der Konzentration natürlicher Radioaktivität in bestimmten Mineralien, die in ihren Herstellungsprozessen verwendet werden, ebenfalls schwachaktive Abfälle. Der Abfall wird zumeist durch Verbrennung mit anschließender Abgasfilterung oder durch direkte Deponierung entsorgt, obwohl Länder wie Frankreich derzeit speziell konzipierte Entsorgungsanlagen entwickeln.

Die Internationale Atomenergieorganisation (IAEO) hat im Jahr 2009 ein neues Klassifizierungssystem für radioaktive Abfälle, das in direktem Zusammenhang mit der Sicherheit der endgültigen Entsorgung steht, vorgeschlagen<sup>1</sup>. Das Grundprinzip ist, dass je höher die Aktivität des Abfalls ist, desto größer ist der Abstand zum Oberflächenökosystem und weitere technische Barrieren sind erforderlich. Die Akronyme für den Abfall Kategorien sind:

- VSLW Very short-lived low-level waste – sehr kurzlebiger niedrigaktiver Abfall
- VLLW Very low-level waste – sehr niedrig aktiver Abfall
- LLW Low-level waste – niedrig aktiver Abfall
- ILW Intermediate-level waste - mittelaktiver Abfall
- HLW High-level waste – hochaktiver Abfall

Die IAEO gibt jedoch keine Grenzen zwischen den Klassen an. Es ist vielmehr Sache der nationalen Behörden, die Grenzwerte auf der Grundlage der spezifischen nationalen Situation festzulegen. Die Grenzwerte hängen vom spezifischen Endlager-Design und den geologischen Bedingungen ab. Zum Beispiel befindet sich das schwedische Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle, SFR Forsmark in einer Tiefe von etwa 60 Metern, enthält aber auch Abfälle, die an oder auf der Oberfläche gelagert werden könnten.

Es kann auch festgehalten werden, dass VLLW und LLW volumenmäßig dominant sind. VLLW wird meist in oberirdischen Deponien entsorgt, während LLW in oberflächennahen Endlagern entsorgt wird. Diese oberflächennahen Endlager unterscheiden sich durch verschiedene Barrieren. Einige weisen konstruktive Barrieren auf, während andere vorwiegend auf geeigneten Standortbedingungen, also natürliche Barrieren beruhen. Die meiste Erfahrung in der endgültigen Entsorgung gibt es zurzeit für oberflächennahe Endlager. Die wesentlichen Faktoren für die sichere Entsorgung sind dabei Standort und Charakterisierung des Abfalls sowie die Sicherheit von technischen Barrieren bzw. natürlicher Barrieren.

---

<sup>1</sup> Classification of radioactive waste: general safety guide. IAEA Safety Standard Series No GSG-1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2009

## 3 Internationale Organisationen, Übereinkommen und Prinzipien

---

### 3.1 Internationale Organisationen

---

Die mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle verbundenen Probleme sind im Prinzip für alle Abfallerzeuger auf der Welt gleich. Informationsaustausch und internationale Zusammenarbeit wurden daher als wichtig für die Lösung solcher Probleme anerkannt. Seit dem Beginn der Nutzung der Radioaktivität entwickelten sich verschiedenen internationale Organisationen mit unterschiedlichen Zielsetzungen, dazu gehören auch Organisationen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle. Im Folgenden wird eine Zusammenstellung von drei internationalen Organisationen von größter Relevanz für die sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle dargestellt.

#### 3.1.1 International Commission on Radiological Protection (ICRP)

---

ICRP<sup>2</sup> wurde 1928 von der International Society of Radiology gegründet. Zu dieser Zeit hieß sie „Internationales Röntgen- und Strahlenschutzkomitee“. 1950 erfolgte die Umbenennung in International Commission on Radiological Protection.

Die ICRP ist eine rechtlich-organisatorisch unabhängige „gemeinnützige“ Organisation, die gegründet wurde, um den öffentlichen Nutzen der Wissenschaft des Strahlenschutzes zu fördern, insbesondere durch Empfehlungen und Leitlinien zu allen Aspekten des Schutzes vor ionisierender Strahlung. Die ICRP setzt sich aus einer fünfköpfigen Hauptkommission sowie mehreren Ausschüssen und einem wissenschaftlichen Sekretariat zusammen. Wie andere wissenschaftliche Akademien wählt die Kommission seine eigenen Mitglieder unter strengen Regeln. Die Erneuerung ist dadurch gewährleistet, dass jeweils drei bis fünf Mitglieder jedes vierte Jahr gewechselt werden müssen. Die Ausschüsse bestehen in der Regel aus 15 bis 20 Mitgliedern.

Die Aktivitäten der ICRP werden hauptsächlich durch freiwillige Beiträge von nationalen und internationalen Stellen mit Interesse an radiologischen Schutz finanziert. ICRP hat seit 1977 eine eigene Reihe von Publikationen, Annals of the ICRP, in denen alle ihre Empfehlungen veröffentlicht werden. Die Empfehlungen der ICRP bilden europaweit die Grundlage für die

---

<sup>2</sup> <https://www.icrp.org/index.asp>

nationale Gesetzgebung im Strahlenschutz. Die letzte allgemeine Empfehlung wurde 2007 veröffentlicht.

### 3.1.2 Internationale Atomenergieorganisation

---

Die IAEO<sup>3</sup> ist eine internationale Organisation innerhalb der Familie der Vereinten Nationen. Es gibt 145 Mitgliedstaaten der IAEO und ihr Personal umfasst 2 300 Mitarbeiter aus 90 Ländern. Sie wurde 1957 mit Sitz in Wien als direkte Folge Präsident Eisenhowers Rede „Atoms for Peace“ (1953) gegründet. Das Ziel der IAEO darin besteht, „to seek to accelerate and enlarge the contribution of atomic energy to peace, health and prosperity throughout the world“. Diese Zielsetzung verbindet sie gemäß eigenem Anspruch mit dem Ziel, den Rahmen für einen möglichst sicheren Umgang mit der Kernenergie zu schaffen. Dazu gehört auch die Schaffung von Regeln für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle. Diese Regeln sind, wie die Regeln der IAEA insgesamt, so gefasst, dass sie weite Spielräume für die technische Ausgestaltung lassen und unter allen Staaten mit unterschiedlichen Schutzstandards konsensfähig sind.

Die Empfehlungen zum Strahlenschutz der ICRP werden in den IAEO-Sicherheitsstandards vollständig berücksichtigt. Der Prozess bei der IAEO zur Annahme eines neuen Sicherheitsstandards ist kompliziert und zeitaufwändig. Die weltweite Wirkung der Sicherheitsstandards ist auf Grund der großen Anzahl an Mitgliedstaaten der IAEO hoch. Dies gilt insbesondere für die Transportnormen von radioaktivem Material. Der IAEO-Sicherheitsstandard bildet die weltweite Grundlage für die Gesetzgebung zum Transport von radioaktivem Material.

Die IAEO spielt auch eine zentrale Rolle bei der Entwicklung internationaler Übereinkommen zu Fragen der Strahlung und der nuklearen Sicherheit. Technische Lösungen von technischen Problemen, Status und Trends für verschiedene Bereiche, einschließlich aller Aspekte der Entsorgung radioaktiver Abfälle werden in den technischen Berichten der IAEO behandelt.

Die IAEA wird von Ausschüssen, den Safety Standards Committees,

- Nuclear Safety Standards Committee (NUSSC)
- Radiation Safety Standards Committee (RASSC)
- Transport Safety Standards Committee (TRANSSC)
- Waste Safety Standards Committee (WASSC)

und einer Kommission für die Sicherheitsstandards, Commission on Safety Standards (CSS), beraten, die die Sicherheitsnormen auf Grund von Arbeitsvorlagen der IAEA erarbeitet und beschließt.

---

<sup>3</sup> <https://www.iaea.org/>

### 3.1.3 OECD Nuclear Energy Agency (NEA)

---

Die Europäische Agentur für Kernenergie wurde 1958 innerhalb der „Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD)“<sup>4</sup> mit dem Ziel, zur Entwicklung der Kernenergie durch Zusammenarbeit zwischen seinen Mitgliedern beizutragen, gegründet. Als 1972 außereuropäische Länder Mitglieder der Organisation wurden, wurde der Name in Nuclear Energy Agency geändert. Derzeit gibt es 28 Länder aus Europa, Nordamerika und dem asiatisch-pazifischen Raum in der NEA. Die NEA-Mitglieder machen ungefähr 85% der weltweit installierten Nuklearkapazität und damit auch der vorhandenen Erfahrung aus. Das Programm umfasst alle Aspekte des Kernbrennstoffkreislaufs. NEA arbeitet eng mit der IAEA zusammen. Die im Vergleich zur IAEA kleinere und homogenere Gruppe von NEA-Mitgliedern macht es oft einfacher, ein Dokument über das NEA-System zu verarbeiten, die Dokumente haben jedoch möglicherweise auf der anderen Seite nicht die gleiche weltweite Akzeptanz wie IAEA-Dokumente.

### 3.1.4 Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA)

---

WENRA<sup>5</sup> wurde 1999 als Netzwerk westeuropäischer Regierungsbehörden insbesondere auch vor dem Hintergrund der Heranführung der mittel- und osteuropäischen Staaten an die EU gegründet. Sie umfasst Regierungsbehörden aus 16 Mitgliedstaaten der Europäischen Union sowie aus der Schweiz und der Ukraine.

Ziel der WENRA ist die europaweite Harmonisierung der nationalen kerntechnischen Regelwerke in den Mitgliedstaaten, um ein gleichmäßig hohes europäisches Sicherheitsniveau zu gewährleisten. Die kerntechnischen Regelwerke der WENRA-Staaten – bestehend aus Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien – sind weitgehend unabhängig voneinander entstanden. Sie unterscheiden sich daher in ihrer Detailtiefe und im Grad ihrer Verbindlichkeit.

WENRA verfügt über zwei ständige technische Arbeitsgruppen, "Reactor Harmonisation Working Group" (RHWG) und "Working Group on Waste and Decommissioning" (WGWD), in denen sich Experten aus Aufsichtsbehörden und Sachverständigenorganisationen intensiv mit technischen Aspekten befassen.

---

<sup>4</sup> <https://www.oecd.org/>

<sup>5</sup> <https://www.wenra.eu/>

### 3.1.5 European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG)

---

ENSREG<sup>6</sup> (zu Deutsch: Europäische Gruppe der Regulierungsbehörden für nukleare Sicherheit) wurde 2007 gegründet und berät die Europäische Kommission auf dem Gebiet der Sicherheit kerntechnischer Anlagen und der sicheren Entsorgung abgebrannter Brennelemente. Zu ihren Mitgliedern gehört neben Regulierungsbehörden der 27 Mitgliedstaaten der Europäischen Union auch die EU-Kommission.

ENSREG hat die Aufgabe, ein gemeinsames Verständnis auf den Gebieten der Sicherheit von kerntechnischen Anlagen, der Sicherheit der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, sowie der Finanzierung der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen sowie der Sicherheit der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle zu erarbeiten und gegebenenfalls gemeinsame Vorgehensweisen vorzuschlagen.

## 3.2 Internationale Übereinkommen

---

Es gibt eine Vielzahl internationaler Übereinkommen und Vereinbarungen, die sich auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle innerhalb der EU direkt und indirekt auswirken. Diejenigen, die sich auf den Transport radioaktiver Abfälle über internationale Grenzen hinweg beziehen, sind Beispiele für Übereinkommen und Vereinbarungen, die lediglich indirekt Auswirkungen auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle haben und werden daher nicht weiter diskutiert. Von denen, die einen direkten Einfluss auf die Abfallentsorgung haben, sind die in den folgenden Abschnitten beschriebenen von Bedeutung.

### 3.2.1 Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management

---

Das Übereinkommen, das oft als kurz als Joint Convention bezeichnet wird, wurde unter der Schirmherrschaft der IAEO 1997 zur Unterzeichnung aufgelegt und trat 2001 in Kraft. 2008 hatten 42 Vertragsparteien, einschließlich Russland, das Übereinkommen ratifiziert.

---

<sup>6</sup> <https://www.ensreg.eu/>

Das Übereinkommen gilt für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle, die aus zivilen Kernreaktoren und -anwendungen stammen, sowie für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle aus Militär- oder Verteidigungsprogrammen.

Es gilt, wenn solche Materialien dauerhaft und ausschließlich an zivile Programme übertragen und innerhalb dieser verwaltet werden oder wenn sie vom Vertrag als abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle im Sinne des Übereinkommens deklariert werden. Das Übereinkommen gilt auch für geplante und kontrollierte Freisetzungen von flüssigen oder gasförmigen radioaktiven Stoffen aus kerntechnischen Anlagen in die Umwelt.

Die Hauptziele des Übereinkommens sind:

- „weltweit ein hohes Maß an Sicherheit für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle zu erreichen und aufrechtzuerhalten durch die Verbesserung der nationalen Maßnahmen und der internationalen Zusammenarbeit, gegebenenfalls einschließlich sicherheitsrelevanter technischer Zusammenarbeit;
- sicherzustellen, dass in allen Phasen der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle eine wirksame Abwehr gegen mögliche Gefahren, damit der Einzelne, die Gesellschaft und die Umwelt geschützt werden vor schädlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung, jetzt und in Zukunft, so, dass die Bedürfnisse und die Bestrebungen der gegenwärtigen Generation erfüllt werden, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu beeinträchtigen ihre Bedürfnisse und Bestrebungen zu erfüllen;
- Unfälle mit radiologischen Folgen zu verhindern und ihre Folgen zu mildern, sollten in irgendeiner Phase der Entsorgung abgebrannter Brennelemente oder radioaktiver Abfälle derartige Unfälle auftreten.“

Das Übereinkommen fordert Überprüfungssitzungen der Vertragsparteien. Zu jedem solchen Treffen legen die Vertragsparteien einen nationalen Bericht vor, in dem die Maßnahmen zur Umsetzung der Verpflichtungen des Übereinkommens aufgeführt sind.

### **3.2.2 Espoo Convention on Environmental Impact Assessment (EIA) in a Transboundary Context**

---

Dies ist ein regionales Übereinkommen, das Europa betrifft und im Rahmen der UN Wirtschaftskommission für Europa entwickelt wurde. Das Übereinkommen wurde 1991 angenommen und trat am 10. September 1997 in Kraft. Es erfordert, dass die Bewertungen über die Grenzen zwischen den Vertragsparteien der Konvention, wenn eine geplante Aktivität, wie die endgültige Entsorgung radioaktiver Abfälle, erhebliche grenzüberschreitende Auswirkungen haben kann. Darin festgelegt sind die Verpflichtungen der Vertragsparteien zur Bewertung der Umweltauswirkungen bestimmter Aktivitäten in einem frühen Stadium der Planung. Eine dieser Aktivitäten in der Konvention ist die Entsorgung von radioaktiven Abfällen. Die Öffentlichkeit, einschließlich der Nachbarländer sollten die Möglichkeit haben, sich zur Umweltverträglichkeitsprüfung zu äußern.

### 3.2.3 Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972

---

Das Übereinkommen wird häufig als London Convention oder LC72 bezeichnet<sup>7</sup>. Es wurde innerhalb der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation (IMO) ausgearbeitet und trat 1975 in Kraft. Ihr Ziel ist Förderung einer wirksamen Kontrolle aller Meeresverschmutzungsquellen und Ergreifung aller praktikablen Maßnahmen zur Verhinderung der Verschmutzung des Meeres durch Ablagerung von Abfällen und anderen Stoffen. Derzeit sind 85 Staaten Vertragsparteien in diesem Übereinkommen. 1996 wurde im „London Protocol“<sup>8</sup> vereinbart, das Übereinkommen weiter zu modernisieren und schließlich zu ersetzen. Unter dem Protokoll ist jegliches Dumping verboten, mit Ausnahme von möglicherweise akzeptablen Abfällen auf der sogenannten „Reverse List“.

Radioaktive Abfälle sind nicht in der „Reverse List“ enthalten. Das Protokoll verbietet effektiv das Dumping von radioaktivem Abfall, da es Material mit größeren Radionuklidaktivitäten als die von der IAEO festgelegten Ausnahmestufen als nicht dumpfungsfähig erklärt. Das Protokoll trat im Jahr 2006 in Kraft.

## 3.3 Grundsätze für die Entsorgung radioaktiver Abfälle

---

In intensiver internationaler Zusammenarbeit, wurde eine wissenschaftliche und technische Grundlage für eine sichere Abfallentsorgung etabliert. Die von der Internationale Kommission für Strahlenschutz (ICRP) entwickelten und von der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO) weiter ausgearbeiteten grundlegenden Strahlenschutzkriterien sind in vollem Umfang auf das Management radioaktiver Abfälle anwendbar.

Die IAEO hat in ihren Grundsätzen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle<sup>9</sup> neun Grundprinzipien festgelegt, die bei der Entwicklung und Etablierung eines nationalen Abfallmanagementsystems berücksichtigt werden sollten. Sie umfassen Grundsätze, auf die auch im „Gemeinsamen Übereinkommen zur Sicherheit der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und zur Sicherheit der Entsorgung radioaktiver Abfälle“ Bezug genommen wird.

---

<sup>7</sup> <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/London-Convention-Protocol.aspx>

<sup>8</sup> 1996 Protocol to the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972 (downloadable: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/PROTOCOLAmended2006.pdf> und <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/LC1972.pdf> )

<sup>9</sup> The principles of radioactive waste management. IAEA Safety Series No. 111-F, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1995

Die Prinzipien sind<sup>2</sup>:

1. Schutz der menschlichen Gesundheit  
Radioaktive Abfälle sind so zu behandeln, dass ein akzeptables Schutzniveau für die menschliche Gesundheit gewährleistet ist.
2. Schutz der Umwelt  
Radioaktive Abfälle sind so zu behandeln, dass ein akzeptables Schutzniveau der Umwelt gewährleistet ist.
3. Schutz über nationale Grenzen hinweg  
Radioaktive Abfälle sind so zu behandeln, dass mögliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt über nationale Grenzen hinweg berücksichtigt werden.
4. Schutz zukünftiger Generationen  
Radioaktive Abfälle sind so zu behandeln, dass auf die Gesundheit der zukünftigen Generationen absehbare Auswirkungen nicht größer sind als die heute akzeptablen relevanten Auswirkungen.
5. Belastungen für zukünftige Generationen  
Radioaktive Abfälle sind so zu behandeln, dass für künftige Generationen keine übermäßigen Belastungen entstehen.
6. Nationaler Rechtsrahmen  
Radioaktive Abfälle werden innerhalb eines angemessenen nationalen Rechtsrahmens verwaltet, einschließlich einer klaren Aufteilung der Zuständigkeiten und Bereitstellung unabhängiger Regulierungsfunktionen.
7. Kontrolle der Erzeugung radioaktiver Abfälle  
Die Erzeugung radioaktiver Abfälle ist so gering wie möglich zu halten.
8. Abhängigkeiten zwischen Erzeugung und Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle  
Die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen allen Schritten bei der Erzeugung und Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle müssen angemessen berücksichtigt werden.
9. Sicherheit von Einrichtungen  
Die Sicherheit von Einrichtungen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle muss während ihrer gesamten Laufzeit angemessen gewährleistet sein

Obwohl diese Grundsätze noch gültig sind, wurden sie 2006 durch das Dokument SF-1, Fundamental Principles (IAEO) ersetzt, das sich vor allem mit allen Aktivitäten im Nuklearbereich befasst.

Als zentraler Punkt des Abfallmanagements und somit der gesamten Entsorgungskette haben sich in den letzten Jahren die Charakterisierung und die Kriterien zur Annahme von radioaktiven Abfällen herauskristallisiert. Der Zusammenhang zwischen der Entsorgungskette und den Annahmekriterien und der Abfallcharakterisierung ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

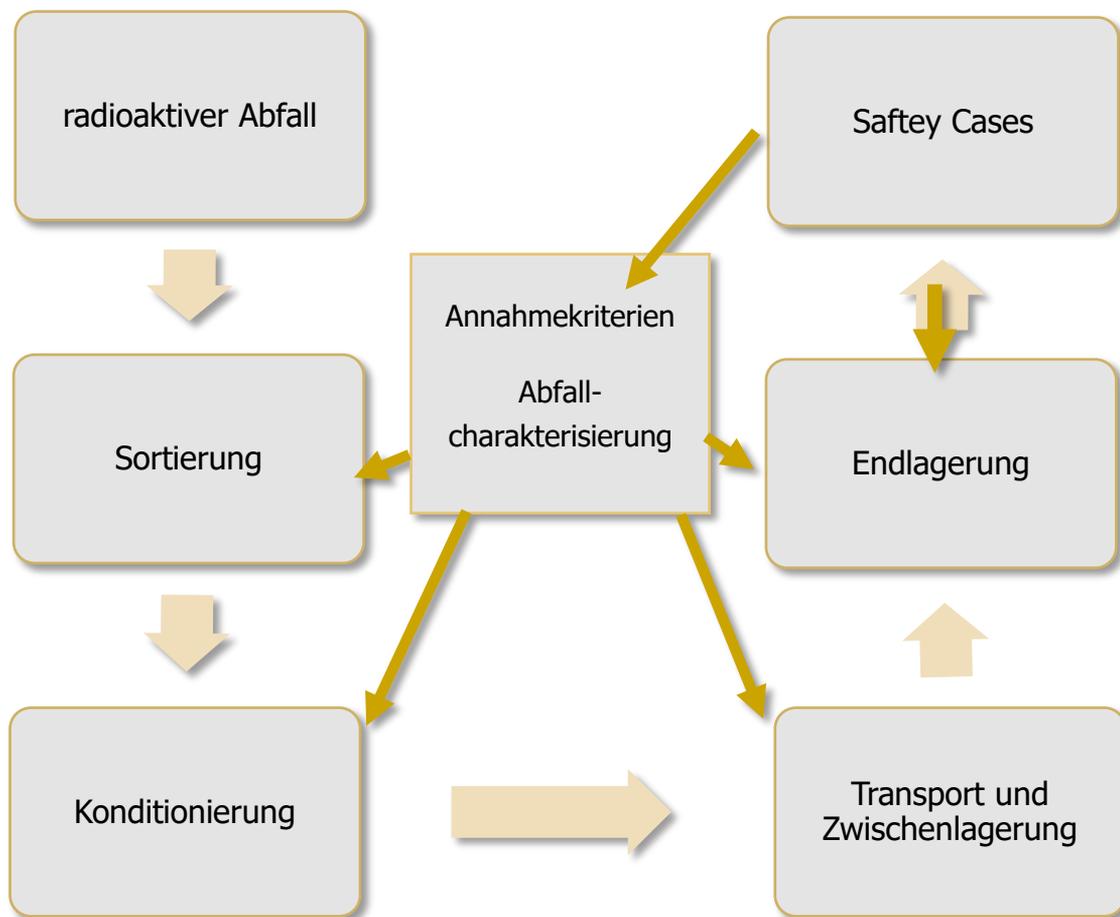


Abbildung 1: Die Beziehungen der Annahmekriterien zu allen Aktivitäten für eine sichere Abfallentsorgung

Um die Sicherheit für ein Endlager und damit der Schutz von Mensch und Umwelt gegen die Auswirkungen eines Endlagers nachzuweisen, müssen verschiedene Sicherheitsnachweise erbracht werden. Die Gesamtheit aller Sicherheitsnachweise wird als Safety Case bezeichnet<sup>10</sup>. Der Safety Case beinhaltet alle wissenschaftlichen, technischen, administrativen und innerbetrieblichen Argumente und Nachweise, die die Sicherheit eines Endlagers belegen sollen und damit die Erbringung eines umfangreichen Sicherheitsnachweises ermöglichen sollen. Diese Definition des Safety Case bezieht Endlager für alle Arten radioaktiver Abfälle und alle Endlagerphasen mit ein. Der Safety Case eines Endlagers umfasst demnach die Standorteignung, die Anlagenauslegung, die Errichtung und den Betrieb der Anlage sowie die Störfallanalyse, die Verschlussphase und die Nachverschlussphase.

Der „Safety-Case“ für ein Endlager kann nur eine relative Sicherheit innerhalb von Fehlergrenzen und von wahrscheinlichkeitsbasierten Randbedingungen nachweisen. Die

<sup>10</sup> International Atomic Energy Agency: The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste. Specific Safety Guide (SSG 23), IAEA Safety Standards Series, SSG-23, International Atomic Energy Agency (IAEA), ISBN 978-92-0-128310-8: Vienna, 2012.

offenen aber akzeptierten Risiken werden in einem Safety Case nicht benannt. Für die politischen Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit kommt es jedoch darauf an zu wissen, welche Risiken offenbleiben. Das ist die Schwäche der Safety Case Praxis. Ergänzt werden sollte der Safety Case deshalb durch einen Risikobericht, der Abwägungen und somit ein transparentes Auswahlverfahren ermöglicht.

### 3.4 Anforderungen an Strahlenschutz und nukleare Sicherheit zur Entsorgung

---

Die vom ICRP entwickelten und von der IAEO ausgearbeiteten grundlegenden Strahlenschutzanforderungen sind in den Basic Safety Standards (BSS), von denen einige auch für das Abfallmanagement gelten. Die bekannten Grundsätze zur Rechtfertigung, Optimierung und Dosisbeschränkung finden sich in ICRP- und IAEO-Veröffentlichungen. Die IAEO stellt daneben Dokumente zu Sicherheitsstandards auf den drei Ebenen Sicherheitsgrundlagen, Sicherheitsanforderungen und Sicherheitsleitfäden zur Verfügung. Beispiele für Abfallmanagement sind nachstehend zusammengefasst:

- SF-1 Fundamental Safety Principles (2006)
- 111-G-3.1 Siting of Near Surface Disposal Facilities (1994)
- WS-G-1.1 Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste (1999)
- SSG-23, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste (2012)
- SSR-5 Disposal of Radioactive Waste Specific Safety Requirements (2011)
- SSG-14 Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste (2011)
- GSG-3 The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management of Radioactive Waste (2013)
- GS-G-3.3 The Management System for the Processing, Handling and Storage of Radioactive Waste (2008)
- GS-G-3.4 The Management System for the Disposal of Radioactive Waste (2008)

## 4 Allgemeine Beschreibung von Endlagereinrichtungen für schwach und mittelaktive radioaktive Abfälle

---

### 4.1 Design und Standort von Endlagern

---

Das grundlegende Sicherheitsziel eines Endlagers für schwach und mittelaktive radioaktive Abfälle ist es, Mensch und Umwelt vor schädlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung schützen. Es gibt drei dominante Wege, auf denen Radionuklide den Menschen oder die Umwelt erreichen und die es hintanzuhalten gilt. Diese sind:

- Transport von Radionukliden mit Wasser
- Transport von Radionukliden mit Gas (zB.: Luft)
- Versehentlicher Kontakt mit dem radioaktiven Abfall

Die Funktionen oberflächennaher Endlagern beruhen auf einem System von Barrieren, die den Transport von Radionukliden in die Biosphäre verhindern oder verzögern. Die Barrieren können eine Kombination von technischen und natürlichen Barrieren sein. Das Design der Barrieren kann sich jedoch zwischen verschiedenen Endlagern erheblich unterscheiden. Bei oberflächennahen Endlagern gibt es eine Vielzahl von Optionen, nach denen der Abfall in technischen Lagern gelagert wird. Strukturen über oder unter der Erde, in Gräben oder in technischen Strukturen von mehreren zehn Metern unter Tage. Es gibt auch einige Beispiele, in denen sich Endlager für kurzlebige LILW-Abfälle in größerer Tiefe befinden. Unterirdische Aufbewahrungsorte bieten im Vergleich zu jenen an der Oberfläche zusätzlichen Schutz gegen einige von Menschen verursachte Gefahren, z.B. Flugzeugunfälle oder Sabotage, und natürliche, z.B. Überschwemmungen und Erosion. Kurzfristig, <300 Jahre, hängt die Sicherheit des Oberflächenlagers jedoch immer von institutioneller Kontrolle ab.

Ein oberflächennahes Endlager, das typischerweise aus Gewölben besteht, soll verhindern, dass Wasser an den entsorgten Abfall gelangt, und somit sicherstellen, dass die Diffusion der einzige Transportmechanismus für Radionuklide ist. Diffusion ist ein extrem langsamer Prozess. In einem solchen Endlager wird der Abfall über dem Grundwasserspiegel eingelagert und der Abfall bleiben trocken, solange die Schutzbarrieren intakt sind, siehe Abbildung 2. Ein Vorteil bei dieser Art von Endlager ist, dass die Anforderungen an die Geländebedingungen moderat sind und es daher normalerweise leichter ist, einen geeigneten Ort zu finden, der den technischen Anforderungen entspricht. Der Nachteil ist, dass die Schutzhülle und Barrieren Witterungseinflüssen, insbesondere Erosion, die die Integrität des Endlagers gefährden kann, ausgesetzt sind. Nach der institutionellen Kontrollperiode sind jedoch die geohydrologischen Bedingungen am Standort wichtig.

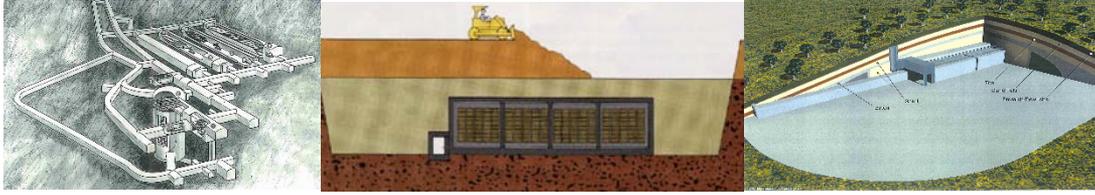


Abbildung 2: Skizzen von drei Arten von Endlagern und ihren Strukturen a) unterirdisches Hohlraum-Endlager, b) einfacher Lagertyp unterirdisch c) Cavernentyp des oberirdischen Lagers. Quelle: Machbarkeitsuntersuchung Endbericht: die Endlagerung der in Österreich anfallenden Abfälle in einem oberflächennahen Lager mit Langzeitcharakter; Quelle: colenco Power Engineering AG und Zivilingenieurbüro Dr. Lutz<sup>11</sup>

Ein Endlager an einem Ort unterhalb oder nahe des Grundwasserspiegels kann ein höheres Risiko für Korrosion und Abbau von Strukturen bedeuten. Die Auswirkungen von Prozessen wie Verwitterung und Erosion sind jedoch geringer als beim Gewölbetyp.

Abfälle können auch in unterirdischen Hohlräumen mit Zugang über Rampen oder Schächte entsorgt werden. In diesem Fall wird der Abfall normalerweise unter dem Grundwasserspiegel platziert, was bedeutet, dass die Umgebung außerhalb der technischen Barrieren schon kurz nach Schließung des Endlagers wassergesättigt ist.

## 4.2 Abfallarten und Anforderungen an die Abfallannahme

Bei der Beurteilung der Langzeitsicherheit spielen eine Reihe von Faktoren und Bedingungen eine Rolle, von denen die meisten bei den verschiedenen Endlagertypen für schwach und mittel radioaktive Abfälle übereinstimmen. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist der zu endlagernde Abfall an sich sowie seine Eigenschaften. Bei der Bewertung werden Anforderungen an die Eigenschaften der Abfälle, die in die Anlage aufgenommen werden können, gestellt. Diese werden als Abfallannahmekriterien angegeben. Siehe dazu auch Abbildung 1. Kurz können die Anforderungen an die Abfallannahme gruppiert werden in:

- Allgemeine Anforderungen
- Radiologische Anforderungen
- Chemische Anforderungen

<sup>11</sup> colenco Power Engineering AG und Zivilingenieurbüro Dr. Lutz; Die Lagerung der in Österreich anfallenden radioaktiven Abfälle in einem oberflächennahen Lager mit Langzeitcharakter; 4397/2; Wien, 2001.

## 4.3 Sicherheitsbewertungen

---

Unabhängig vom Endlagertyp ist ein detailliertes und quantitatives Verständnis und eine Bewertung der Endlagersicherheit notwendig. Für die Bewertung ist unter Einbeziehung der zeitlichen Veränderungen, die ein Standort und das Endlagersystem im zugrundeliegenden Nachweiszeitraum erfahren können, zu zeigen, dass und mit welchem Vertrauenswert vorgegebene Sicherheitsanforderungen eingehalten werden. Eine solche Bewertung der Sicherheit des Endlagers basiert daher auf einer detaillierten Beschreibung des Endlagersystems, seines Betriebs und der zu untersuchenden Entwicklungsszenarien.

Ein Szenario ist in diesem Zusammenhang die Beschreibung einer möglichen zukünftigen Situation oder von Abfolgen von möglichen Ereignissen im Lauf der Betriebszeit des Endlagers. Aufgrund international unterschiedlicher Bezeichnungen für die verschiedenen Szenariotypen ist es erforderlich näher zu erläutern, auf welche Begriffe sich in den folgenden Kapiteln bezogen wird. Aus dem initialen Zustand des Endlagersystems und seiner nachfolgenden Entwicklung leitet sich das Referenzszenarium ab, welches auch Haupt-, Zentral-, Basisszenarium oder Szenarium der normalen Entwicklung genannt wird. Werden eine oder mehrere weniger wahrscheinliche Bedingungen für das Referenzszenarium angesetzt, resultieren daraus sogenannte alterierte Szenarien oder zusätzliche Szenarien, hier einheitlich bezeichnet als Alternativszenarien. Verallgemeinerte Betrachtungen bzw. Annahmen für die Szenarien werden oftmals dann vorgenommen, wenn eine Vorhersage von Entwicklungen nicht möglich oder nur mit sehr großen Ungewissheiten behaftet ist. Beispiele hierfür sind die Entwicklung der Biosphäre und die kaum langfristig prognostizierbaren menschlichen Aktivitäten und Lebensgewohnheiten am Endlagerstandort und seiner Umgebung.

Eine weitere Gruppe bezieht sich auf Störfall-Szenarien, teilweise auch residuale Szenarien genannt, die im Allgemeinen den vollständigen Ausfall einer Sicherheitsfunktion berücksichtigen und behandeln. Es wird von sehr unwahrscheinlichen und extremen Ereignissen ausgegangen. Gelegentlich werden diese Szenarien in die Gruppe der Alternativszenarien integriert. „What-if Szenarien“ können Bestandteil der Störfall-Szenarien sein oder eigenständig behandelt werden. Diese Szenarien werden oftmals zur Illustration der Robustheit des Endlagersystems unter meist nicht physikalischen begründbaren Annahmen herangezogen. Das menschliche Eindringen in ein Endlagersystem (Human Intrusion) als Teilmenge der menschlichen Aktivitäten wird gelegentlich in Störfall-Szenarien integriert oder separat betrachtet.

Die Szenarien werden in Berechnungsfälle übersetzt. Diese sind mathematische Modelle, die durch verschiedene Computercodes und Eingabeparameterwerte beschrieben werden und ein gemeinsames Bild der Auswirkungen auf die langfristige Sicherheit von Endlagern geben. Eine schematische Darstellung der wesentlichen Eckpfeiler einer Sicherheitsbewertung ist in Abbildung 3 dargestellt.

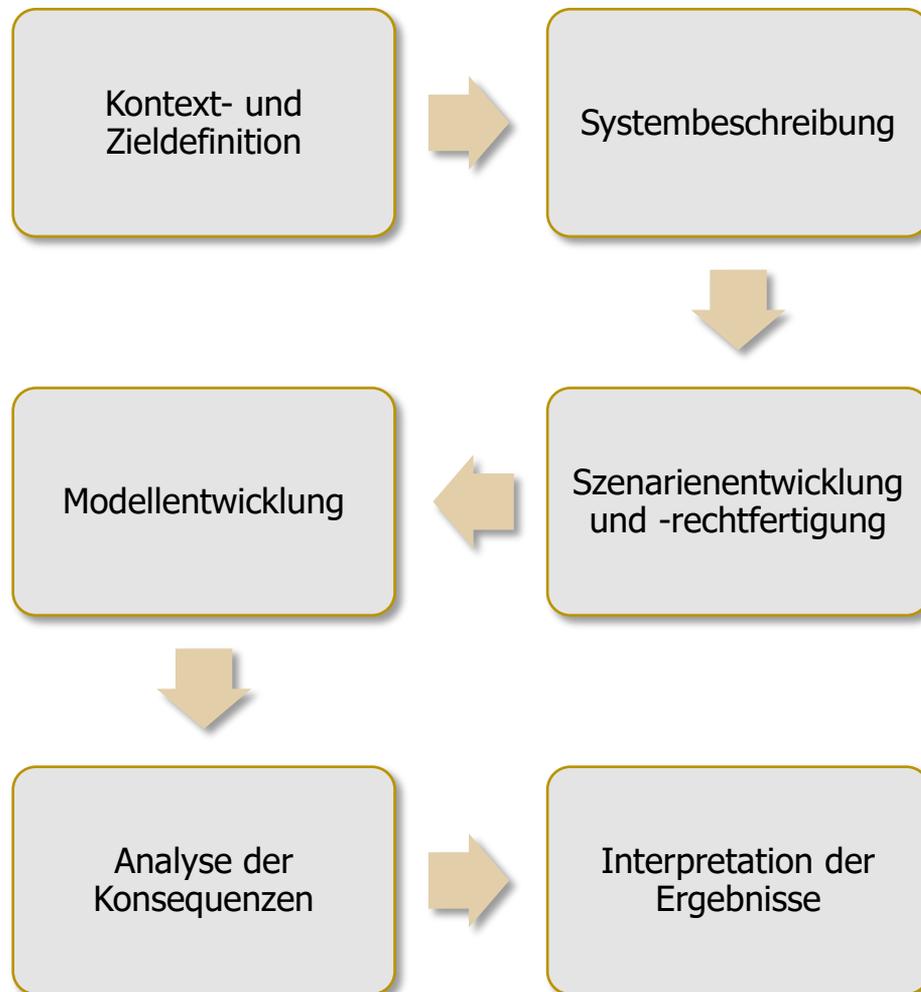


Abbildung 3: Darstellung des Prozesses der Sicherheitsbewertung

Der Zweck der Sicherheitsbewertung (analog zur Umweltverträglichkeitsprüfung) – einschließlich hydrogeologische Untersuchungen und Modellierung – ist es, zu prüfen, ob der Nachweis erbracht wird, dass eine Entsorgungsanlage das erforderliche Schutzniveau für Mensch und Umwelt erreichen wird. Diese Nachweise sind in der Regel zur Unterstützung eines Entscheidungsprozesses in Bezug auf die Entwicklung eines Abfallagers zu erbringen. Der Bewertungskontext gibt den Rahmen für die Bewertung vor, z.B. der Zweck der Bewertung und welche Indikatoren sind zur Darstellung der Sicherheit des Endlagers zu verwenden. Der Bewertungskontext hängt folglich stark mit nationalen Kriterien und Vorschriften zusammen. Beispiele für Indikatoren im Rahmen des Kontextes sind jährliche Dosen für die am höchsten exponierte Gruppe, das jährliche Risiko für die am höchsten exponierte Gruppe, Konsequenzen für nichtmenschliche Biota oder jährlich freigesetzte Aktivitätsströme unter Berücksichtigung der Radiotoxizität.

Die Leistung eines Endlagers und das Entwickeln von Szenarien, die behandelt werden sollen, können basierend auf dem Ausfall von Sicherheitsfunktionen vorgenommen werden. Eine Sicherheitsfunktion ist eine Eigenschaft, die zur allgemeinen Langzeit-Sicherheit eines

Endlagers beiträgt. Barrieren und Grenzwerte für Grundwasserflüsse sind Beispiele für solche Sicherheitsfunktionen.

Langfristige Sicherheitsbewertungen von Endlagern für radioaktive Abfälle beruhen in hohem Maße auf Analysen basierend auf mathematischen Modellen und der Verwendung einer großen Menge von Daten, einschließlich hydrogeologischer Daten. Sicherheitsbewertungen enthalten Systembeschreibungen und unterstützende Datenbanken, Szenarioanalysen, Konsequenzanalysen, Leistungsmessungsberechnungen, Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen und ein Vergleich der geschätzten Leistung mit den regulatorischen Anforderungen (Kriterien).

Um die Leistung eines Endlagers zu bewerten, muss die zukünftige Entwicklung von technischen Barrieren und natürlichen Bedingungen, die alle relevanten Merkmale, Ereignisse und Prozesse berücksichtigen, bewertet werden. Die Sicherheitsbewertung ist ein kontinuierliches Instrument während der gesamten Lebensdauer eines Endlagers ab Planung und Standortstudien bis zum Abschluss.

## 5 Auswahl von Endlagern für die Diskussion

---

Detaillierte Beschreibungen aller Endlager sind aufgrund der großen Anzahl von Endlagern, jedes mit seinem spezifischen Ort und seinen Bedingungen, nicht zielführend. Stattdessen wurden einige „typische“ Endlager für die Aufnahme in diesen Bericht gemäß den folgenden Punkten ausgewählt. Der Schwerpunkt lag darauf, ob sie typische Ansätze in verschiedenen Nationen repräsentieren, die es ermöglichen, Erfahrungen von nationalen Bedingungen und Vorschriften gegenüber zu stellen. Sie sollten auch verschiedene Größen, Orte und Designs darstellen, wie z.B. über dem Boden, an der Oberfläche oder tiefer im Boden liegend. Außerdem sollten sie mit verschiedenen Arten von Barrieren gebaut werden. Ein weiteres Kriterium war die Verfügbarkeit von relevanten Informationen. Wesentlich ist auch, dass sich die ausgewählten Endlager nicht in einem theoretischen Planungsstadium, sondern, wenn möglich, bereits in der Umsetzungsphase befinden.

Wesentlicher Unterschied zwischen den gewählten Endlagern ist ihre Tiefe. Für diese Studie wurden Endlager ausgewählt, die den gesamten Tiefenbereich von der Oberfläche bis zu einer Tiefe von 650 Metern einbeziehen.

Es sind dies:

- **Oberirdisches Lager** - El Cabril in Spanien, Centre de l'Aube in Frankreich.
- **Oberflächennahes Lager unter der Erde** - LLWR in der Nähe des Dorfes Drigg in Großbritannien, Rokkasho-mura in Japan (aufgrund der großen kulturellen Unterschiede zu Europa werden nur die technologischen Aspekte betrachtet).

- **Geologischer Endlager-Typ** - VLJ in Finnland und SFR in Schweden

Die ausgewählten Endlager überspannen einen weiten Bereich von Größen ab, von nur 10.000 m<sup>3</sup> Kapazität in einem lokalen Endlager VLJ in Finnland zu den größten Einrichtungen bei LLWR in Großbritannien und l`Aube in Frankreich.

Die Beschreibungen enthalten Angaben zu Größe, Design und Barrieren des Endlagers, Abfallverpackungen und akzeptierte Abfallarten und falls verfügbar auch Informationen zu Radionuklidaktivität, Sicherheitskriterien und Bewertungen.

## 5.1 Management radioaktiver Abfälle in Spanien – Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA)

---

Spanien begann in den 1950er Jahren mit der Verwendung radioaktiver Materialien in den Bereichen Forschung, Medizin und Industrie. Die Inbetriebnahme des ersten Kernreaktors erfolgte 1968. Weitere folgten in den 1970er und 1980er Jahren. Das Ende des Kernenergieausbaus erfolgte mit dem Moratorium gegen Kernenergie im Plan Energético Nacional<sup>12</sup> von 1983. Heute sind noch fünf Kernkraftwerke (Almaraz (Cáceres), Trillo (Guadalajara), Cofrentes (Valencia), Ascó und Vandellós (Tarragona)) mit sieben Reaktoren in Betrieb. Noch im Jahr 2000 betrug der Anteil der Kernenergie an der gesamten Stromerzeugung 35 %, im Jahr 2021 noch etwa 21 %<sup>13</sup>. Die gesamte installierte Kernenergiekapazität beträgt derzeit 7121 MW Nettoleistung. Etwa 95 % der anfallenden radioaktiven Abfälle stammen aus den Kernkraftwerken. Abfälle aus Industrie, Wissenschaft und medizinische Anwendungen werden in rund 500 Einrichtungen in ganz Spanien generiert.

Nach dem Atomenergiewgesetz von 1964<sup>14</sup> sind die Erzeuger von radioaktiven Abfällen verantwortlich für die sichere Verwaltung. Empresa Nacional de Residuos Radiactivos – ENRESA wurde 1984<sup>15</sup> mit dem Ziel gegründet, die Gesamtverantwortung für den Abfall zu übernehmen und seine Entsorgung zu betreiben. ENRESA wurde als non-profit Unternehmen gegründet, dessen Hauptaufgaben darin bestehen die Sammlung, Transportbehandlung und

---

<sup>12</sup> Plan Energético Nacional 1983, Boletín Oficial de las Cortes Generales, 42, 14th May 1983, p.435.

<sup>13</sup> RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, El sistema eléctrico español. Previsión de cierre 2019, [https://www.ree.es/sites/default/files/11\\_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2019/Red-Elctrica-Infografia-Sector-ElctricoEspa%C3%B1ol-2019.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2019/Red-Elctrica-Infografia-Sector-ElctricoEspa%C3%B1ol-2019.pdf).

<sup>14</sup> Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear

<sup>15</sup> REAL DECRETO 1522/1984 de 4 de julio, por el que se autoriza la constitution de la "Empresa Nacional de Residuos Radioactivos S. A." – ENRESA <https://www.boe.es/boe/dias/1984/08/22/pdfs/A24186-24187.pdf>

Entsorgung radioaktiver Abfälle zu organisieren und die Standortwahl sowie Planung, Bau und Betrieb von Lager- und Entsorgungszentren durchzuführen.

ENRESA verwaltet auch die Operationen im Zusammenhang mit der Stilllegung von Kern- und radioaktiven Anlagen, verwaltet den Abfallfonds und konditioniert bei Bedarf die Abfälle aus Uranbergbau und -verarbeitung.

Der Prozess der Entsorgung nuklearer Abfälle folgt dem Mandat des von der Regierung herausgegebenen „Plan General de Residuos Radiactivos“ (PGRR). Der derzeit gültige Plan ist der 6. PGRR<sup>16</sup>, der 23. Juni 2006 vom Consejo de Ministros (Ministerrat) genehmigt wurde. Er beinhaltet die notwendigen Maßnahmen und während der Gültigkeitsdauer zu entwickelnde technische Lösungen zur angemessenen Entsorgung radioaktiver Abfälle. Es enthält auch eine aktualisierte Darstellung der Kosten solcher Maßnahmen. Die Verantwortung für den Bereich Abfallmanagement radioaktiver Abfälle in Spanien liegt beim Ministerio de Industria, Turismo y Comercia. Zu seinen Zuständigkeiten gehören:

1. Planung des Managements radioaktiver Abfälle
2. Erteilung von Bau- und Betriebsgenehmigungen
3. Regulierung der Mechanismen zur Finanzierung der Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Die für die nukleare Sicherheit und Strahlenschutz zuständige Aufsichtsbehörde ist das Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). CSN ist für die Festlegung aktueller Sicherheitsstandards für kerntechnische Anlagen sowie für die Sicherstellung der Einhaltung der Sicherheitsstandards verantwortlich<sup>17</sup>, die Durchführung von Inspektionen kerntechnischer Anlagen sowie für die Zertifizierung ihrer Mitarbeiter. CSN ist vor Erteilung einer Lizenz dem Ministerio de Industria, Turismo y Comercia berichtspflichtig. Auflagen des CSN im Rahmen der Lizenzerteilung sind uneingeschränkt bindend. CSN ist per Gesetz unabhängig von der Verwaltung und nur dem Parlament direkt unterstellt. CSN kann dem Ministerium vorschlagen Geldstrafen oder sonstige Strafen bei Nichterfüllung der Vorschriften über nukleare Sicherheit und Strahlenschutz zu verhängen.

Zusätzlich ist das Umweltministerium für die Verwaltung des Prozesses der Umweltverträglichkeitsprüfung und für den Vorschlag neuer Vorschriften in Bezug auf Umweltprobleme hinsichtlich radioaktiver Abfälle zuständig.

In Bezug auf das Management radioaktiver Abfälle gibt es in Spanien keine spezifische Gesetzgebung, sondern vier große Regelwerke.

---

<sup>16</sup> [https://www.enresa.es/documentos/6PGRR\\_Espa\\_ol\\_Libro\\_versi\\_n\\_indexada.pdf](https://www.enresa.es/documentos/6PGRR_Espa_ol_Libro_versi_n_indexada.pdf)

<sup>17</sup> Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear

Es gelten:

1. Regelungen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, die in die Rechtsvorschriften, die die nukleare Sicherheit sowie das Genehmigungsverfahren für nukleare Anlagen und Tätigkeiten mit radioaktiven Quellen.
2. Vorschriften über die Umweltverträglichkeitsprüfung und Umweltverträglichkeitserklärung.
3. Regelungen zu Landnutzung und Kommunal Funktionen.
4. Regelungen zur Tätigkeit von ENRESA und zur Finanzierung radioaktiver Abfallwirtschaft.

Aufgrund der Directive 2011/70/EURATOM<sup>18</sup> wurde 2014 das Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos erlassen mit dem Ziel, alle relevanten Vorschriften betreffend die Aufgaben von ENRESA die aufgrund diverser Dekrete und ministerieller Erlässe verstreut waren, wieder in einem Dokument zu vereinen. Das Dekret von 2014 zielt auf die

*„Regulierung einer verantwortungsvollen und sicheren Entsorgung abgebrannter Kernbrennstoffe und radioaktiver Abfälle aus zivilen Aktivitäten in all ihren Phasen, von der Erzeugung bis zur Endlagerung, um unangemessene Belastungen für künftige Generationen zu vermeiden sowie die Regulierung einiger Aspekte im Zusammenhang mit der Finanzierung dieser Aktivitäten.“<sup>19</sup>*

ab. Die wesentlichen Aspekte des Dekrets sind

1. Das Management radioaktiver Abfälle im Allgemeinen ist eine wesentliche öffentliche Dienstleistung, die über Artikel 128 Absatz 2 der spanischen Verfassung dem Staat vorbehalten ist. Der Staat delegiert die Aufgabe offiziell an die ENRESA, die ihre Aufgaben im „Plan General de Residuos Radiactivos“ (PGRR) festlegt. Der PGRR wird von der Regierung genehmigt.
2. ENRESA wird vom Ministerio de Industria, Turismo y Comercio durch das Secretaría de Estado de Energía überwacht.

---

<sup>18</sup> Richtlinie 2011/70/Euratom des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle; Amtsblatt der Europäischen Union, L 199/48, 2.8.2011

<sup>19</sup> “ [L]a regulación de la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos cuando procedan de actividades civiles, en todas sus etapas, desde la generación hasta el almacenamiento definitivo, con el fin de evitar imponer a las futuras generaciones cargas indebidas, así como la regulación de algunos aspectos relativos a la financiación de estas actividades” .

3. Radioaktive Abfälle sind Eigentum des Staates, sobald sie gelagert sind. Ebenso ist der Staat für die Überwachung der gelagerten radioaktiven Abfälle verantwortlich solange eine Überwachung notwendig ist.

Im Draft des 7. Plans General de Residuos Radiactivos<sup>20</sup> wird von einem erwarteten Gesamtvolumen von 236.500 m<sup>3</sup> an radioaktiven Abfällen aus ganz Spanien ausgegangen. Davon entfallen nur 4 % hochaktive Abfälle wie Brennstäbe.

Die Entsorgung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen erfolgt in der ENRESA Anlage El Cabril in der Provinz Córdoba, die 1992 in Betrieb genommen wurde. Die Anlage wurde vom Ministerium für Industrie und Energie bewilligt nachdem ENRESA 1988 beim Consejo de Seguridad Nuclear den entsprechenden Antrag auf Zulassung der Anlage gestellt hat. Im August 1989 hat die Generaldirektion des Umweltministeriums seine Umweltverträglichkeitserklärung zusammen mit dem positiven Bericht vom Rat für nukleare Sicherheit an das Ministerium für Industrie und Energie nach einer Frist für öffentliche Einwände und Stellungnahmen. Im Oktober 1989 wurde der Bau der Anlage vom Ministerium autorisiert. Der Bau begann 1990 nach der Baugenehmigung vom Stadtrat auf der Grundlage eines positiven Berichts der Stadtplanungskommission der Provinz. Die Genehmigung zur Inbetriebnahme der Anlage wurde im Jahr 1992 durch das Ministerium für Industrie und Energie auf Basis einer vorläufigen Betriebserlaubnis des Consejo de Seguridad Nuclear ausgestellt.

## 5.2 Management radioaktiver Abfälle in Frankreich – Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA)

---

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle wird in Frankreich durch drei Gesetze geregelt.

1. *Loi n° 91-1381, du 30 décembre 1991, relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs*, in Frankreich auch *Loi Bataille* genannt.
2. *Loi n° 2006-739, du 28 juin 2006, de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs*.
3. *Loi n° 2016-1015, du 25 juillet 2016, précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue*.

---

<sup>20</sup> MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, Borrador de 7º Plan General de Residuos Radiactivos, 2020, p. 29

Das sind die drei wichtigsten Gesetze im Rahmen des Managements radioaktiver Abfälle in Frankreich. Daneben sind weitere Rechtsinstrumente, wie z.B. *Code de l'Environnement*<sup>21</sup> zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist die Entsorgung radioaktiver Abfälle eine Tätigkeit im Sinn des Strahlenschutzregimes für die eine behördliche Lizenz nach den Bestimmungen des *Code du Travail*<sup>22</sup> und des *Code de la Santé Publique*<sup>23</sup> erforderlich ist.

Das Management radioaktiver Abfälle in Frankreich ist Aufgabe der Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA), die nationale Agentur für die Entsorgung radioaktiver Abfälle. Anfangs war ANDRA Teil des Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA). 1991 etablierte das Loi Bataille ANDRA als unabhängige Organisation in Staatseigentum unter der Verwaltungsaufsicht der Ministerien für Energie, Forschung und Umwelt (Artikel 13).

Die französische Regierung hält im Loi Bataille die Überzeugung fest, dass nur eine unabhängige staatseigene Organisation sowohl kurzfristig als auch langfristig die Sicherheit, Stabilität und Unabhängigkeit in Bezug auf radioaktive Abfälle sicherstellen kann. Das Gesetz definierte die drei Hauptaufgaben für ANDRA. Die Behörde hat eine Inventarfunktion, in der sie alle radioaktiven Abfälle auf französischem Territorium erfassen muss. Das Ergebnis wird in veröffentlichten Jahresberichten festgehalten. ANDRA hat auch eine industrielle Rolle in Bezug auf die Planung, den Bau und den Betrieb von Endlagerungsanlagen. Die Verantwortung umfasst alle Arten von radioaktiven Abfällen. ANDRA betreibt heute zwei unterschiedliche Entsorgungsanlagen, eine im Centre de la Manche und die andere im Centre de l'Aube. Die erste Entsorgungsanlage war zwischen 1969 und 1994 in Betrieb und hat in dieser Zeit 525.000 m<sup>3</sup> Abfallbinde entsorgt und ist heute in der Phase nach der Schließung.

Die Tätigkeit in der Einrichtung im Centre de l'Aube begann 1992 und nach den Berechnungen der Auslegungszahlen werden 1.000.000 m<sup>3</sup> Abfallbinde (Durchschnitt 15.000 m<sup>3</sup>/Jahr) eingelagert.

Schließlich hat ANDRA in seiner Forschungsfunktion die Verantwortung für die Untersuchung und Erarbeitung effizienter und sicherer Langzeitlösungen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Daneben sind an der Entsorgung radioaktiver Abfälle Regierungsvertreter und die lokale Verwaltung beteiligt. Der Préfet de région, Préfet de département und die Direktion für die Sicherheit kerntechnischer Anlagen, die für die Lizenzen zuständig ist, sowie die Regionaldirektion für Industrie und Umweltkontrolle, die verantwortlich dafür ist, dass die Vorschriften und Sicherheitsanforderungen umgesetzt werden. Es gibt eine nationale wissenschaftliche Begutachtungsstelle (Nationales Gutachtergremium), das Parlamentarische Büro für die Bewertung wissenschaftlicher Optionen, das lokale Informations- und Follow-up-

---

<sup>21</sup> Code de l'environnement; <https://codes.droit.org/PDF/Code%20de%20l%27environnement.pdf>

<sup>22</sup> Code du Travail; <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006072050/>

<sup>23</sup> Code de la Santé Publique; <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006072665/>

Komitee, bestehend aus Regierungsbeamten, Abgeordneten, Umweltschutzgruppen, Bauernverbände, Berufsverbände u.a.

Als sehr schwach radioaktive Abfälle werden in Frankreich Abfälle mit durchschnittlich 10 Bq/g angesehen. Diese Art von Abfall stammt aus:

1. der Nuklearindustrie im Allgemeinen (hauptsächlich zukünftige Stilllegungs-/Abbauabfälle).
2. anderen Industrien, wie chemische und metallurgische.

ANDRA hat einen Prozess zum Bau einer Entsorgungsanlage für diese Art von Abfällen in der Nähe der Einrichtungen des Centre de l'Aube eingeleitet. Der laufende Prozess wird unter Beteiligung der lokalen Bevölkerung durchgeführt.

Die Entsorgungsanlage Centre de la Manche enthält ausschließlich diese Abfallart und befindet sich auf der Halbinsel Cotentin in der Nähe der Wiederaufarbeitungsanlage von La Hague. Die Anlage wurde 1994 geschlossen und 1997 versiegelt. Sie enthält 525.000 m<sup>3</sup> radioaktiver Abfälle. Die Einrichtung befindet sich jetzt in der institutionellen Kontrollphase und der Prozess der Schließung ist abgeschlossen.

1984 hat die französische Regierung beschlossen eine neue oberflächennahe Entsorgungsanlage für schwach und mittelradioaktive Abfälle zu errichten. 1992 wurde die Anlage im Centre de l'Aube in Betrieb genommen. Die Anlage befindet sich in Soulaines-Dhuys, in den Départements Aube und in der Nähe von Troyes. Der Standort ist 95 Hektar groß und über Straßen und eine Eisenbahn in der nächsten Stadt (Brienne-le-Château) erreichbar.

### **5.3 Management radioaktiver Abfälle in Großbritannien – Nuclear Decommissioning Authority (NDA)**

---

Die wichtigsten Quellen für radioaktiven Abfall im Vereinigten Königreich stammen aus der Nuklearindustrie. Kernkraft liefert etwa 28 % des britischen Stroms. Ein Großteil des Abfalls stammt aus nationalen und kommerziellen Wiederaufarbeitungsvorgängen abgebrannter Brennelemente in Sellafield. Geringere Beträge resultieren aus Krankenhäusern und verschiedenen industriellen Anwendungen.

Wie in vielen anderen Ländern liegt die Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Verantwortung der Abfallproduzenten. 1982 gründeten sie mit Unterstützung der Regierung Nirex (damals Nuclear Industry Radioactive Waste Executive), welche 1985 in United Kingdom Nirex Limited (Nirex) umbenannt wurde. Nirex war verantwortlich für die Ausarbeitung langfristiger Lösungen im Bereich des Managements schwach und mittelradioaktiver Abfälle. Keiner Organisation wurde Verantwortung übertragen, um eine Entsorgungslösung für hochaktive

radioaktive Abfälle zu finden. In Großbritannien werden abgebrannte Brennelemente nicht als Nuklearabfall sondern als (Wirtschafts-)Ressource betrachtet. Die Aktionäre von Nirex waren die Organisationen der Kernkraftindustrie und das Ministerium für Handel und Industrie (DTI)<sup>24</sup>.

Es gibt eine Reihe anderer staatlicher und nichtstaatlicher Organisationen, die am Management der Entsorgung radioaktiver Abfälle beteiligt sind:

- Das Department of Environment Transport and the Regions (DETR) ist von Regierungsseite verantwortlich für die Entwicklung/Weiterentwicklung der Entsorgungspolitik für radioaktive Abfälle.
- Der Beirat für die Entsorgung radioaktiver Abfälle (RWMAC) ist ein unabhängiges Beratungsgremium für die Beratung der Regierung in allen Aspekten der Entsorgung radioaktiver und nuklearer Abfälle.
- Das National Radiological Protection Board (NRPB) berät die Regierung bei der Umsetzung der ICRP<sup>25</sup>-Empfehlungen im Vereinigten Königreich.
- Der Gesundheits- und Sicherheitsbeauftragte (Inspektorat für nukleare Anlagen) und die Umweltbehörde regeln die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Großbritannien.

Mit dem Energy Act 2004<sup>26</sup> wurde die Nuclear Decommissioning Authority (NDA) ins Leben gerufen<sup>27</sup>. Die Nuclear Decommissioning Authority ist eine öffentliche Einrichtung des Department for Business, Energy and Industrial Strategy. Sie ist aus der Abteilung Kohle- und Nuklearhaftung des Department of Trade and Industry hervorgegangen. Aufgabe der NDA ist die Stilllegung und Bereinigung des zivilen nuklearen Erbes des Vereinigten Königreichs auf sichere und kosteneffiziente Weise durchzuführen und, wenn möglich Arbeitsprogramme einzurichten, die das Risiko reduzieren. Die NDA legt die Gesamtstrategie und die Prioritäten für das Stilllegungsmanagement fest. Die NDA verwaltet die Nuklearanlagen des Vereinigten Königreichs nicht direkt. Es überwacht die Arbeit durch Verträge mit speziell entwickelten Unternehmen, die als Standortlizenzenunternehmen bekannt sind.

So gab die Nuclear Decommissioning Authority als derzeitigen Eigentümer des Endlagers in Drigg im März 2008 bekannt, dass UK Nuclear Waste Management Ltd (ein von der Washington Division der URS Corporation geführtes Konsortium, das Studsvik UK, AREVA-NC und Serco Assurance umfasst) den Zuschlag für die Verwaltung des Lagers erhalten hat und den Betrieb des Endlagers für schwachaktive Abfälle übernehmen soll. Low Level Waste Repository Ltd.

---

<sup>24</sup> Nirex, *Annual Report and Accounts*, United Kingdom Nirex Limited, 2000.

<sup>25</sup> ICRP International Commission on Radiological Protection, Internationale Strahlenschutzkommission. Erstellt z.B. die Dosisgrenzwerte im Strahlenschutz auf Basis wissenschaftlicher Risikoabschätzungen.

<sup>26</sup> <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2004/20/contents>

<sup>27</sup> Energy Act 2004, Part 1, Chapter 1.1: „There shall be a body corporate to be known as the Nuclear Decommissioning Authority (“the NDA”).“

(LLWR) ist seit Juli 2021 eine Tochtergesellschaft der Nuclear Decommissioning Authority (NDA), nachdem ihr Eigentum von der UK Nuclear Waste Management Ltd (UKNWM) übertragen wurde.

Großbritannien bereitet abgebrannte Brennelemente aus seinen eigenen Reaktoren und aus einigen anderen Ländern wieder auf. Soweit Übereiseverträge betroffen sind, sehen diese vor, dass anfallende Abfälle aus dem Verfahren an das betreffende Land zurückgegeben werden; in der Praxis kann dies die Substitution geringerer Mengen hochaktiver Abfälle durch mittelaktive Abfälle bedeuten<sup>28</sup>.

Die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente wird im Vereinigten Königreich seit den 1950er Jahren betrieben. Ursprüngliches Ziel war die Herstellung von Plutonium für die Kernwaffenproduktion. Bis heute wurden in der Anlage Sellafield rund 35.000 Tonnen abgebrannte Brennelemente wiederaufbereitet. Der Betrieb erfolgt in zwei Hauptwerken, der Magnox-Einheit für abgebrannte Brennelemente aus älteren britischen Reaktoren (die aus chemischen Gründen wiederaufbereitet werden müssen) und Thorp (Thermische Oxid-Wiederaufarbeitungsanlage) für abgebrannte Brennelemente aus der späteren AGR-Reaktoren und LWR-Reaktoren.

Vor dem Versand zur Wiederaufarbeitung nach Sellafield wird der abgebrannte Brennstoff für eine Zeit in den Kernkraftwerken in wassergefüllten Lagerbecken oder in luftgekühlten Speichern für Wylfa-Kraftwerk (Magnox-Brennelemente) gelagert. Dadurch können die Brennelemente auf für den Transport geeignete Temperaturen abkühlen.

Mittelaktive Abfälle aus der Wiederaufbereitung werden in verpressten 500-Liter-Stahlfässern (gemäß Nirex-Spezifikationen) eingebracht, die bei Sellafield vor der Entsorgung in einem geologischen Endlager zwischengelagert werden. Hochradioaktive Rückstände aus dem Aufarbeitungsprozess werden verglast und für mindestens 50 Jahre gekühlt vor Ort in Sellafield gelagert.

Beginnend mit 1940 wurden Abfälle auch im Atlantischen Ozean deponiert, aber aufgrund von Protesten der Öffentlichkeit wurde diese Vorgehensweise eingestellt. Am 17. November 1975 ratifizierte Großbritannien die London Dumping Convention<sup>29</sup>, die eine weitere Entsorgung über diesen Weg verbietet.

Es gibt in Großbritannien zwei Endlager für schwach und mittelradioaktive Abfälle. Eines befindet sich nahe Dounreay im Nord-Westen Schottlands. Das Lager nimmt jedoch ausschließlich Abfälle aus dem Betrieb vor Ort.

---

<sup>28</sup> HM Government, Review of Radioactive Waste Management Policy, Command 2919, HMSO London 1995.

<sup>29</sup>

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/LDC\\_LC\\_Documents/LDC%20\(4\)%20%E2%80%93%20List%20of%20Ratifying%20States.pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/LDC_LC_Documents/LDC%20(4)%20%E2%80%93%20List%20of%20Ratifying%20States.pdf)

Die nationale Entsorgungsanlage für schwach und mittelradioaktive Abfälle befindet sich in Drigg in Cumbria. Diese Anlage nimmt Abfälle aus anderen Nuklearstandorten, Krankenhäusern und der Industrie auf. Bis 1989 wurde der Abfall lose in Gräben gekippt, die anschließend mit Mutterboden bedeckt wurden; aber seit 1989 wird der Abfall in ISO-Containern entsorgt, die in Betongewölbe eingebracht werden.

## 5.4 Management radioaktiver Abfälle in Finnland – Posiva Oy

---

In Finnland gibt es zwei Kernkraftwerke mit je zwei Reaktoren, die sich im Süden des Landes befinden. Die Eigentümer, Teollisuuden Voima Oy und Fortum Power and Heat Oy, sind für die Entsorgung nuklearer Abfälle verantwortlich. Die Reaktoren wurden in den 1970er Jahre gebaut und gleichzeitig wurde die Planung zur Entsorgung der Abfälle eingeleitet.

Ein langfristiger Plan für Forschung und Entwicklung wurde 1983 beschlossen. 1988 wurde ein neues Atomenergiegesetz verkündet. Es gibt klare Anweisungen zur Abfallwirtschaft radioaktiver und nuklearer Abfälle in Finnland. Das Gesetz wurde 1994 überarbeitet, als beschlossen wurde, dass der gesamte radioaktive und nukleare Abfall in Finnland entsorgt werden soll. Davor wurden die abgebrannten Brennelemente der Loviisa-Reaktoren in die Sowjetunion verbracht.

1995 wurde Posiva Oy von den Eigentümerfirmen gegründet. Posiva Oy ist verantwortlich für die Planung und Umsetzung der Entsorgung abgebrannter Brennelemente in Finnland.

Es gibt eine Reihe von Behörden mit spezifischen Aufgaben und Verantwortlichkeiten. Das Ministerium für Handel und Industrie ist oberste Aufsichtsbehörde und bereitet die Zulassung durch die Regierung zur Entscheidungsfindung vor. Die Regierung erteilt Lizenzen, grundsätzliche Genehmigungen, Baugenehmigung und Betriebsgenehmigung. Das Parlament muss die Regierungsentscheidungen bezüglich Lizenzerteilung ratifizieren. Die Gemeinde, also der Gemeinderat, hat ein Vetorecht bei der Standortwahl. Die finnische Behörde für Strahlung und Kernenergiesicherheit (STUK) überwacht die nuklearen Aktivitäten und entwickelt Vorschriften.

Die beiden Kernkraftwerke in Loviisa und Olkiluoto machen etwa 25 % der gesamten Stromproduktion Finnlands aus. Der anfallende radioaktive Abfall wird entweder direkt im Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle entsorgt oder wird im Fall abgebrannter Brennelemente in mit Wasser gefüllten Becken im Reaktorgebäude für mehrere Jahre zur Kühlung zwischengelagert. Die abgekühlten Brennstäbe werden danach in ein Lager mit ähnlichen Becken gebracht. Die abgebrannten Brennelemente sollen in diesen Becken für mehrere Jahrzehnte gelagert werden. Dies ist eine Zwischenlagerung und das Endziel ist die

Entsorgung der abgebrannten Brennelemente im geologischen Tiefenlager, das im Grundgestein von Olkiluoto ausgehoben wurde.

Finnland hat sich bei der Entsorgung abgebrannter Brennelemente für das Typkonzept KBS-3 entschieden. Es bedeutet, dass die abgebrannten Brennelemente in wasserdichte Behälter gefüllt werden, die 400–700 Meter unter der Erdoberfläche deponiert werden. Grundlage für diese Form der Lagerung ist das Multibarrieren-System, bei dem der Abfall durch die Behälter, Bentonit und das Urgestein geschützt wird. Es gibt verschiedene Arten von Lösungen bezüglich der tatsächlichen Gestaltung einer unterirdischen Anlage nach dem KBS-3 Konzept. Der Eingang zum Endlager kann eine spiralförmige Rampe oder ein vertikaler Schacht und die eigentlichen Lagerstollen sollten 100 bis 300 Meter lang und 25 Meter voneinander entfernt sein. Die Anlage wird entsprechend der Struktur des Grundgesteins von Olkiluoto errichtet. Das Endlager wird so gebaut sein, dass die Abfälle von zukünftigen Generationen zurückgeholt werden können sofern neue Technologien für eine andere Form der Entsorgung sprechen.

## 5.5 Management radioaktiver Abfälle in Schweden – Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB)

---

In Schweden wird nuklearer Abfall von SKB – der schwedischen Kernbrennstoff- und Abfall-Verwaltungsgesellschaft – verwaltet. SKB ist im Besitz der vier schwedischen Kernkraftwerksbetreiber. 1977 wurde die Verantwortung für alle anfallenden radioaktiven Abfälle, die in den Kernkraftwerken anfallen den Betreibern übertragen.

In den letzten Jahren hat SKB daran gearbeitet, eine wissenschaftliche und politisch akzeptable Lösung für die Tiefenlagerung abgebrannter Kernbrennstoffe zu finden.

Der rechtliche Rahmen des Programms zur Entsorgung nuklearer Abfälle besteht aus dem Schwedischen Gesetz über nukleare Aktivitäten, dem Finanzierungsgesetz und dem Umweltgesetzbuch. Die schwedische Regierung hat das letzte Wort, wenn es um die Entsorgung radioaktiver und nuklearer Abfälle geht. SKB ist verpflichtet laufend Fortschrittsberichte vorzulegen. SKB musste einen Bericht über Machbarkeitsstudien und ein klares Programm vorlegen sowie einen Vorschlag für Standortstudien. Das Schwedische Nuklearinspektorat (SKI), der Schwedische Rat für Nuklear Abfall (KASAM) und das schwedische Strahlenschutzinstitut (SSI) müssen dem Vorschlag von SKB zustimmen.

Der Plan für die Entsorgung von nuklearen Abfällen in Schweden sieht die Lagerung in Primärgestein in einer Tiefe von etwa 500 Metern vor. Hochaktive Abfälle sollen vor der endgültigen Deponierung im Felsen ca. 30 Jahre bei CLAB – dem zentralen Zwischenlager für abgebrannte Kernbrennstoffe – gelagert werden.

Schwach- und mittelaktive Betriebsabfälle werden bei der SFR Einrichtung in Forsmark entsorgt. Diese Anlage ist 50 Meter unter dem Meeresboden gebaut und hat ein Fassungsvermögen von 63.000 m<sup>3</sup>.

Das gesamte Kernmaterial wird derzeit per Schiff transportiert, da alle Kernreaktoren und Abfalleinrichtungen sich am Meer befinden. Das Transportschiff M/S Sigyn wurde speziell für diese Aufgabe gebaut und wird für alle Transporte verwendet.

Bei CLAB werden die Abfälle in mit Wasser gefüllten Becken in einer Felsanlage 25 Meter unter der Erde gelagert. CLAB lagert derzeit rund 3.400 Tonnen Abfall und akzeptiert 300 Tonnen pro Jahr. Die maximale Abfallmenge beträgt 5.000 Tonnen. Nach 30 Jahren wird der Abfall in Behältern aus Kupfer und einem Einsatz aus massivem Gusseisen eingebracht. Wenn die Behälter gefüllt sind, werden sie im schwedischen Grundgestein ca. 500 bis 700 Meter unter der Erde in Tunneln mit Ablagerungslöchern endgelagert. Jeder Behälter wird von Bentonit umgeben.

Die Lagerung erfolgt in zwei Schritten. Der erste Schritt besteht aus 400 Behältern, was 10 % der Gesamtabfallmenge entspricht. Anschließend wird die Abscheidungsmethode evaluiert. Danach kann entweder der reguläre Betrieb des Endlagers beginnen oder der Abfall wird geborgen. Diese Methode der Endlagerung ist als KBS-3 bekannt.

## 6 Technologische Aspekte

---

### 6.1 El Cabril in Spanien

---

Spanien hat das Problem der Bewirtschaftung der kurzlebigen Abfälle mit niedrigem und mittlerem Gehalt durch eine zentrale Entsorgungsanlage in El Cabril gelöst. Die in der Einrichtung durchgeführten Operationen umfassen die Annahme, Behandlung, Konditionierung und endgültige Entsorgung der Abfälle im Endlager. Die Anlage wird von ENRESA, der Organisation, die für die Verwaltung aller radioaktive Abfälle in Spanien zuständig ist, gebaut und betrieben.

El Cabril soll alle in Spanien erzeugten LILW-SL erhalten und ist daher für ein Volumen von ca. 37.000 m<sup>3</sup> ausgelegt. Ebenfalls mit El Cabril verbunden sind eine Behandlungsanlage für LLW und eine Entsorgungsanlage für sehr niedrig aktive Abfälle (VLLW). Diese sind beide in Betrieb, werden hier jedoch nicht beschrieben.

## 6.1.1 Lage und geologische Bedingungen

---

Die Entsorgungsanlage befindet sich in einem sehr abgelegenen Teil in Südspanien in Hornachuelos (Córdoba). Ursprünglich befand sich an dem Standort eine Uranmine, die zu Beginn der sechziger Jahre, als sie erschöpft war, an Junta Energie Nuclear zur endgültigen Entsorgung von LLW aus Forschungsaktivitäten übergeben wurde. Die Mine war jedoch zu begrenzt um künftige Abfälle entsorgen zu können, und es wurde eine Entscheidung getroffen ein speziell erstelltes Oberflächenlager zu errichten.

Auch die geringe Bevölkerungsdichte sowie das trockene Klima sind langfristig günstige Faktoren die zur Entscheidungsfindung beigetragen haben. Das Endlager wurde 1992 in Betrieb genommen.

## 6.1.2 Lager-Design

---

Das El Cabril Lager verfügt über drei Barrieren, um die Freisetzung in die Umwelt zu begrenzen:

- eine erste Barriere, bestehend aus dem konditionierten Abfall und dem Behälter,
- eine zweite Barriere, bestehend aus den technischen Strukturen, in denen die Abfälle untergebracht sind,
- eine dritte und letzte Barriere, die durch das natürliche Gelände des Standorts gebildet wird, an dem sich die Anlage befindet.

ENRESA hat auf Basis der Sicherheitsbewertung für Betriebs- und Nachschließungsphasen eine Reihe von Abfallannahmekriterien festgelegt. Dazu zählt, dass die Anlage in El Cabril nur radioaktive Abfälle mit einem sehr geringen Anteil an langlebigen radioaktiven Abfällen (Halbwertszeit > 30 Jahre) akzeptiert. Die LLW-Anlage verfügt über einen Gesamtspeicher Kapazität von 37.000 m<sup>3</sup>. Die Entsorgungsanlage ist für extreme Standortbedingungen, einschließlich Erdbeben, ausgelegt.

Die technischen Strukturen bestehen aus oberirdischen Betongewölben. Es gibt insgesamt 28 Lagereinheiten mit den Abmessungen 22,5 x 18 x 9 m. Eine Lagereinheit ist in der aus der Zeitung [publico.es](http://publico.es) entnommenen Abbildung 4 dargestellt. Die Wände und der Boden der Gewölbe haben eine Dicke von ca. 0,5 m. Die Basis jeder Einheit ist wasserdicht mit einer Schicht aus Polyurethan und einer 10 – 20 cm dicken Schicht aus porösem Beton abgedeckt. Ein Abflusskontrollsystem mit Inspektionsgalerien wurde unter den Entsorgungsgewölben errichtet.

Die Gewölbe werden während des Betriebs durch eine containerartige Metallhülle über den Gewölben geschützt. An dieser Überkonstruktion befindet sich auch der Handhabungskran.

Nach Fertigstellung eines Entsorgungsbereichs wird eine mehrschichtige Abdeckung konstruiert um Regenwasser abzuleiten. Die Abdeckung soll auch den langfristigen Schutz der Behälter gewährleisten.

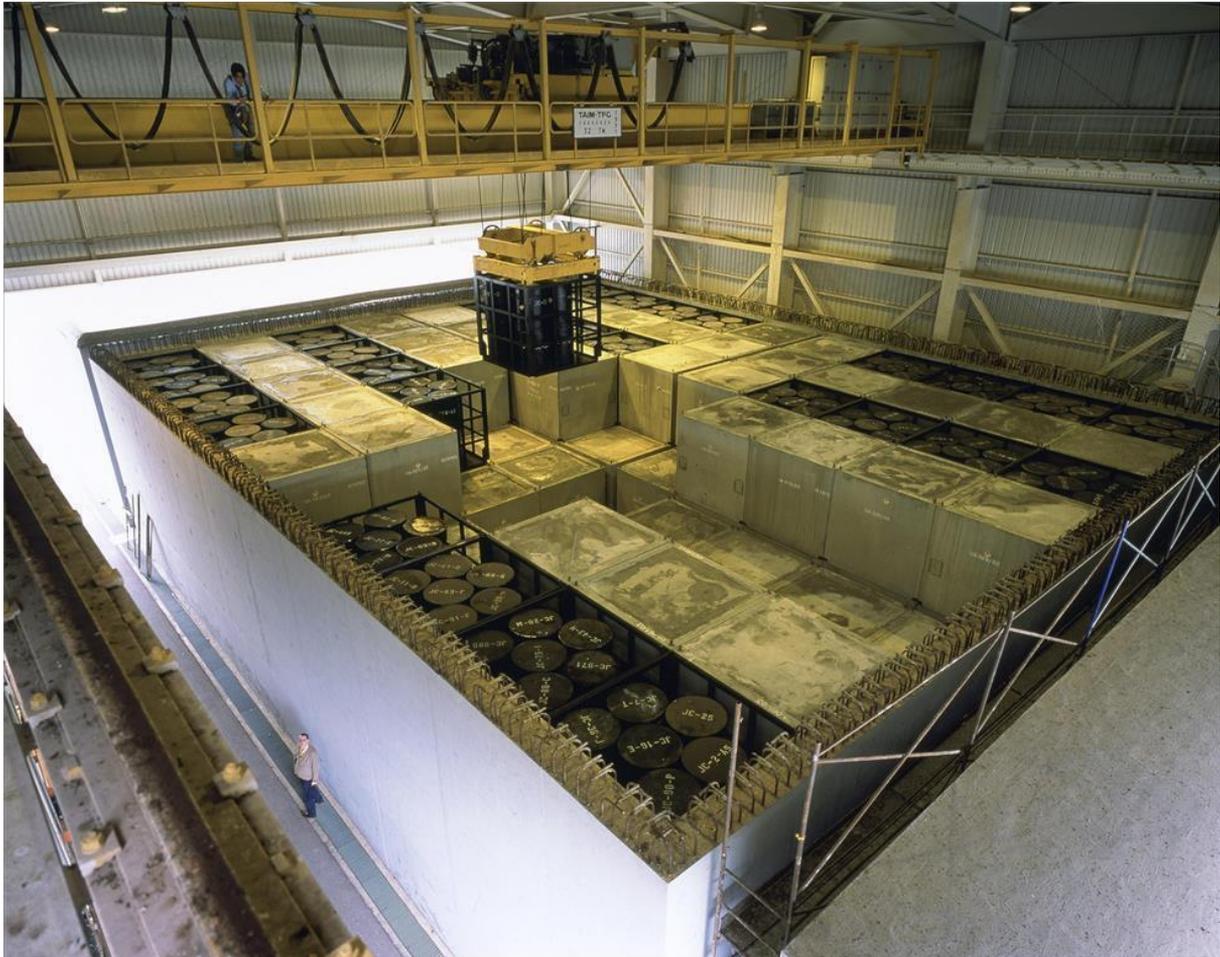


Abbildung 4: Einzelne Lagercaverne in El Cabril mit der Containerüberdeckung während der Einlagerungsphase. Quelle: publico.es

### 6.1.3 Abfallverpackungen und Abfallmenge

---

Die akzeptierten Abfälle umfassen:

- Feste oder erstarrte Abfälle (Harze, Filter, Verdampferkonzentrate, Filtrationsschlamm) aus dem Betrieb von kerntechnischen Anlagen.
- Feste technologische Abfälle (Handschuhe, Werkzeuge) beim Betrieb und Abbau von kerntechnischen Anlagen.
- Verschiedene Feststoffe und Flüssigkeiten aus der Anwendung von Radioisotopen in der Industrie, medizinische und Forschungseinrichtungen.
- Sekundäre feste oder flüssige Abfälle aus den Aktivitäten in El Cabril.

Beispiele für Parameter, die von ENRESA für die Abfallakzeptanzkriterien festgelegt wurden, sind Auslaugungsraten, mechanische Festigkeit, Temperaturen und maximaler Aktivitätsgehalt.

Die Abfallverpackungen, hauptsächlich 200 l Stahlfässer und 1,3 m<sup>3</sup> Metallkästen, werden in größere Betonbehälter gegeben (2,2 x 2,2 x 2,2 m) zu einer 11 m<sup>3</sup> Endverpackung oder Entsorgungseinheit, die die erste Barriere bildet. Das Innenvolumen der Betonbehälter kann mit institutionellen flüssigen Abfällen oder kontaminierter Asche gemischt und mit Mörtel oder Zement verfüllt werden. Die Container werden wiederum in die Entsorgungszellen gestellt, die auf zwei Plattformen verteilt sind.

Bei Erreichen des Fassungsvermögens von 320 Betonbehältern wird mit Kies verfüllt und eine Verschlussplatte konstruiert und mit einer undurchlässigen Farbe beschichtet.

Unter jeder Reihe von Entsorgungsgewölben befindet sich eine Inspektionsdrift, in der sich zwei Entwässerungssysteme befinden, eine für die Regenwassersammlung aus den noch nicht in Betrieb befindlichen Gewölben, eine für die Gewölbe die bereits Abfallverpackungen enthalten.

#### **6.1.4 Pläne für die Schließung**

---

Sobald die Endkapazität der Gewölbe erreicht ist, werden sie mit einer Reihe von Erd- und Tonschichten bedeckt, um sie von der Biosphäre zu isolieren und ihre Integration in die Landschaft sicherzustellen. Die Schichten umfassen von oben nach unten eine Folge von Erde, dickem Kies, einer ersten Sandschicht, einer undurchlässigen Schicht, eine zweite Sandschicht, eine feuchtigkeitsbeständige Schicht und eine dritte abfließende Sandschicht.

#### **6.1.5 Sicherheitsbewertungen**

---

Unter Berücksichtigung der erwarteten Materialentwicklung der Entsorgungsanlage darf die jährliche effektive Dosis über das Grundwasser weder kurzfristig noch langfristig größer als 0,1 mSv pro Jahr sein. Die Pfade für die Freisetzung radioaktiver Gase sind der Auslass des gesteuerten Belüftungssystems und der Verbrennungsstapel. Beide Systeme wurden so konzipiert und betrieben, dass die Dosen für ein hypothetisches Mitglied der Öffentlichkeit an der Grenze des Lagergeländes aufgrund aller gasförmigen Ableitungen in die Atmosphäre und unter Berücksichtigung aller Expositionspfade so niedrig wie möglich erreichbar und niedriger sind als 0,01 mSv pro Jahr. Die Dosis für ein Mitglied der Allgemeinbevölkerung aufgrund von Unfallsituationen muss unter 5 mSv pro Jahr und in jedem Fall gemittelt über das individuelle Leben unter 1 mSv pro Jahr liegen.

Strahlenexpositionen gegenüber nichtmenschlichen Biota werden derzeit nicht berücksichtigt. Weiters gibt es auch keine Anforderungen für den Nachweis der Exposition gegenüber Schwermetallen oder anderen Schadstoffen.

Das Lager soll nach dem Verschließen 300 Jahre lang unter institutioneller Kontrolle stehen. Die Barrieren haben laut Sicherheitsbewertungen danach ihre Verzögerungsfunktion völlig verloren. Die Sicherheitsbewertungen berücksichtigen die Migration von Radionukliden durch Wasser, das durch das Endlager fließt und auch Freisetzungen aufgrund der Gaserzeugung sowie das Eindringen von Personen.

## 6.1.6 Genehmigung, Lizenzierung, Bewilligung

---

ENRESA hat eine Strategie mehrerer systematischer Schritte zur Leistungs-/Sicherheitsbewertung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle entwickelt. Die erste Leistungsbeurteilung wurde 1997 auf Granit und 1998 eine Bewertung in einer Tonformation durchgeführt. Für eine sichere Entsorgung ist ein Multibarrieren-System vorgesehen bei dem der Abfall durch Kapseln geschützt ist und diese Kapseln vom Gestein aufgenommen werden.

Lizenzen und Genehmigungen werden vom Ministerio de Industria, Turismo y Comercio auf Basis positiver Berichte des Consejo de Seguridad Nuclear und einer Umweltverträglichkeitserklärung vom Umweltministerium ausgestellt. Zusätzliche Lizenzen wie Bergbaulizenzen, Lizenzen für konventionelle Abfälle und Lizenzen zu Flächenplanungs- und Nutzungsstandards, werden auf lokaler Ebene der autonomen Regionen erteilt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Prozess der Lizenzen in drei Blöcke unterteilt werden kann:

1. Die Genehmigung für Nuklearanlagen wird vom Staat erteilt, insbesondere vom Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, des Consejo de Seguridad Nuclear und Umweltministerium.
2. Lizenzen betreffend Raumordnung und Landnutzungsmanagement fallen in die Zuständigkeit der Autonomen Gemeinschaften und Stadträten.
3. Es liegt in der Verantwortung der Zentralregierung oder der Regierungen der Autonomen Gemeinschaften Lizenzen für Bergbau, Wasserwirtschaft, Eingriffe in Naturparks, etc. zu erteilen.

Die spanische Gesetzgebung enthält keine spezifische Regelung nur für die administrativen Aspekte zur Genehmigung von Entsorgungsanlagen für radioaktive Abfälle. Der Prozess ist rechtlich innerhalb des allgemeinen Rahmens des Gewerberechts organisiert, auf das die besonderen Bedingungen der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes angewendet werden.

## 6.2 Entsorgungsanlage Centre de l'Aube in Frankreich

---

Die Entsorgungsanlage des Centre de l'Aube in Frankreich wurde 1992 in Betrieb genommen. Die kurzlebigen Abfälle auf niedrigem und mittlerem Niveau stammen hauptsächlich aus der Kernkraftindustrie und den Aktivitäten der französischen Atomenergiekommission (CEA). Dazu gehören auch Abfälle aus Krankenhäusern, Forschung und Universitätslabors. In Zukunft können Abfälle aus der Sanierung und Demontage von KKWs entsorgt werden.

Das Endlager wird von der National Radioactive Waste Management Agency, ANDRA betrieben, einer für die langfristige Entsorgung aller in Frankreich erzeugten radioaktiven Abfälle zuständige Stelle.

Der Abfall umfasst im Wesentlichen Wartungsabfälle (Kleidung, Werkzeuge, Handschuhe, Filter usw.) und Abfälle aus dem Betrieb von kerntechnischen Anlagen wie die Behandlung von gasförmigen und flüssigen Abwässern. Diese umfassen Radionuklide mit Halbwertszeiten im Bereich von Cobalt-60 und Cäsium-137, kann aber auch streng begrenzte Mengen langlebiger Radionuklide enthalten.

Die Entsorgungsanlage im Stadtteil Aube liegt geologisch auf sandigen Sediment-Formationen, unter denen eine wasserfeste Tonformation liegt. Der durchschnittliche jährliche Niederschlag beträgt 500–1000 mm. Die Sandschicht leitet den gesamten Niederschlag in Richtung des einzigen Abflusses, des Flusses Noues d'Amance stromabwärts der Entsorgungsanlage ab. Die Tonformation bildet eine natürliche Barriere gegen die Freisetzung radioaktiver Elemente ins Grundwasser und verhindert so jegliche Ausbreitung in die Umgebung.

Der Standort Aube wurde 1985 aufgrund seiner Eignung nach einem zweijährigen geologischen Programm mit hydrogeologischer und geochemischer Charakterisierung und Bewertung mehrerer potenzieller Standorte ausgewählt.

### 6.2.1 Lager-Design

---

Seit 1992 werden kurzlebige Abfälle mit niedrigen und mittleren Radionuklidaktivitäten im ANDRA Centre de stockage de déchets de faible et moyenne activité à vie courte (CSFMA) im Bezirk l'Aube gelagert.

Es handelt sich um eine überirdische Anlage mit technischen Barrieren. Die ANDRA CSFMA ist für die Aufnahme von 1.000.000 m<sup>3</sup> Abfall ausgelegt. Der Abfall wird an der Erdoberfläche in Stahlbetongewölben mit 30 cm dicken Wänden gelagert. Die einzelnen Zellen haben eine Fläche von 25 m<sup>2</sup> und sind 8 m hoch. Die Anlage verfügt über ca. 400 derartige Betongewölbe und, je nach Abfallart, werden sie entweder mit Kies oder Beton verfüllt und anschließend mit einer Betonplatte und mit einer undurchlässigen Beschichtung versiegelt. Jedes Gewölbe kann

2.500 bis 3.500 m<sup>3</sup> an Abfallvolumen aufnehmen. Schließlich werden die Zellen mit einer mehrere Meter dicken Tonschicht bedeckt, um die Langzeitwirkung zu gewährleisten. Die Anlage ist mit Inspektionstunneln ausgestattet.

## 6.2.2 Abfallverpackungen und Abfallmengen

---

Die Hauptarten der verwendeten Abfallverpackungen sind Stahlfässer und Beton- oder Stahlkästen. Der Abfall ist eingebettet in eine Betonmatrix. Eine Abfalleinheit besteht zu 15-20 % aus radioaktivem Material und 80-85 % Einbettungsmatrix.

Die Abfallmatrix, die sich dadurch bildet, dient als erste Diffusionsbarriere. Die Sicherheitsfunktionen bilden auch die Grundlage für die Abfallannahmekriterien, wie die Rückhalteeigenschaften (Diffusionskoeffizient, Auslaugungsrate), Haltbarkeit der Verpackung, Aktivitätsbegrenzung und Strahlenschutz. Der akzeptable Diffusionskoeffizient von Beton (unter Verwendung von Tritiumwasser als Referenzmaterial) wird in Abhängigkeit von der Dicke der Barriere angegeben. Die Laugungsraten liegen im Bereich von 10<sup>-3</sup> pro Jahr und Diffusionskoeffizienten im Bereich von 10<sup>-14</sup> bis 10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s. (Zum Vergleich: Diffusionskoeffizienten in Wasser sind etwa 10<sup>-6</sup> bis 10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s). Die Mindestdicke für die Betonhülle wird als diejenige, die zur Sicherstellung mechanischer Festigkeit und Einschluss der Radionuklide für ein paar hundert Jahre erforderlich ist, berechnet.

Die allgemeinen Abfallannahmekriterien, die für alle gelieferten Abfalleinheiten gelten, stellen Anforderungen an die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Abfalls: z.B. keine freie Flüssigkeit, inerte Materie. Sie konzentrieren sich auf die radiologische Charakterisierung, insbesondere auf die Identifizierung von Radionukliden, die vorhanden sein können. Eine Liste von 143 Nukliden wurde erstellt. Die Dosisraten aller Abfallverpackungen werden gemessen. Der Zweck besteht darin, Abfälle zu erkennen, die höhere Aktivitätsmengen enthalten könnten als bei der Sicherheitsbewertung berücksichtigt wurden. Die Aktivitätsgrenzen wurden aus der Sicherheitsanalyse abgeleitet. Einige Grenzwerte sind vorgeschrieben, um „Hot Spots“ im Lager zu vermeiden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Identifizierung von Materialien, die chemische Auswirkungen haben könnten. Diese Materialien sind teilweise anhand aus relevanten französischen Regularien entnommen, die für nicht speziell für radioaktive Endlager erstellt wurden. Zu diesen Materialien zählen z.B. Blei, Bor, Nickel, Chrom (Gesamt- und VI-Form), Antimon, Selen, Cadmium, Quecksilber, Beryllium, Arsen, freie Cyanide, Ammoniak und Asbest. Diese Materialien müssen quantifiziert werden, sodass eine Berechnung der chemischen Auswirkungen hinsichtlich einer Zusammenlagerung ermöglicht wird.

In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Anstrengungen unternommen das Abfallvolumen auf ein Drittel des ursprünglichen Volumens von LILW zu reduzieren. In Zukunft will ANDRA mit den Abfallverursachern zusammenarbeiten, um kontinuierliche Innovation und Forschung

in der Entwicklung von Behandlungstechniken zur Reduzierung des Abfallvolumens zusammen mit der komplementären Entwicklung von Dekontaminations- und Messtechniken zu gewährleisten.

### **6.2.3 Sicherheitsbewertungen**

---

Für die Bewertung der Auswirkungen eines oberflächennahen Endlagers in Frankreich verweist ANDRA auf einen nationalen grundlegenden Sicherheitsleitfaden. Dieser Sicherheitsleitfaden schreibt vor, dass am Ende des Überwachungszeitraums (nicht mehr als 300 Jahre) die Sicherheit nicht länger von den künstlichen Barrieren abhängen sollte, sondern von den Umgebungseigenschaften des Lagers.

Die Dosisgrenze wurde für die Allgemeinbevölkerung auf 0,25 mSv pro Jahr festgelegt. Es wurden Szenarien abgeleitet, die normale und abnormale Situationen umfassen (z.B. Eindringen). Sie werden unter Berücksichtigung von Wasser- und Lufttransfers (Wiederverwendung von Materialien der Entsorgungsstelle) und die Auswirkungen für kritische Gruppen berechnet.

### **6.2.4 Pläne für die Schließung**

---

Wenn die Anlage ihre Entsorgungskapazität erreicht hat, wird eine dicke Lehmdecke mit Vegetation über den gesamten Zellensatz gezogen werden, um das Lager vor externen Effekten zu schützen. Eine vollständige experimentelle Abdeckung wird verwendet, um das Abdeckungskonzept, das zum Schutz der Anlage entwickelt wurde, während seiner Überwachungsphase zu validieren. Die institutionelle Kontrollperiode beträgt 300 Jahre.

### **6.2.5 Genehmigung, Lizenzierung, Bewilligung**

---

Für die Erteilung der Baubewilligung ist ein Sicherheitsbewertungsbericht auf der Grundlage der Erkenntnisse aus den Endlagermodellen der Forschungseinrichtungen zu erstellen. Der Sicherheitsbericht beschreibt alle Phasen von der Errichtung bis zum Verschluss hinsichtlich der Robustheit des Designs gegenüber Verzögerungen oder unerwarteter Ereignisse. Eine zweite Sicherheitsbewertung hat die zu untersuchenden Szenarien zu definieren. Die letzte Phase der Sicherheitsuntersuchungen hat zum Ziel den Sicherheitsnachweis zu bewerten. Nach dem Regierungsbeschluss von 1998 ist es zwingend erforderlich, dass mit den Sicherheitsprogrammen Kontrolle und Transparenz verbunden sind. Erst wenn alle

Sicherheitsanalysen und deren Bewertungen vorliegen, wird der 2018 eingebrachte Antrag von der französischen Regierung behandelt.

## 6.3 Low Level Waste Repository nahe Drigg in Großbritannien

---

Das Low Level Waste Repository (LLWR) in der Nähe des Dorfes Drigg ist Großbritanniens nationale Einrichtung zur Entsorgung fester radioaktiver Abfälle mit niedrigem Aktivitätsgehalt. Das LLWR gehört der Nuclear Decommissioning Authority (NDA) und wird im Auftrag der NDA durch ein Standort-Lizenz-Unternehmen (LLWR Ltd.) betrieben.

Im Jahr 2011 wurde eine Umweltverträglichkeitsprüfung (LLW Repository 2011) durchgeführt und eingereicht. Diese ist die Hauptinformationsquelle für die unten angegebenen Beschreibungen.

### 6.3.1 Lage und geologische Bedingungen

---

Die LLWR-Anlage befindet sich in der Nähe des Dorfes Drigg, etwa fünf Kilometer südöstlich von Sellafield. Der Standort wurde erstmals 1940 als Royal Ordnance Factory für die Produktion von TNT erschlossen. Die erste Zulassungsbescheinigung für die Entsorgung von LLW wurde 1958 erteilt. Der Betrieb wurde 1959 aufgenommen.

Die geologische Struktur in der Region besteht aus quaternären Ablagerungen, die auf komplexe Gletscherprozesse, die über älterem Sandsteingrundgestein liegen, zurückzuführen sind. Die quaternären Sedimentablagerungen umfassen eine Folge von Ton, Sand und Kies bis zu 60 m Dicke. Das Gelände ist etwa 100 Hektar groß. Der Boden fällt sanft in Richtung Meer ab und fällt im Nordosten von 20 m über dem Meeresspiegel ab bis ca. 7 m über dem Meeresspiegel an der südöstlichen Grenze.

Der Standort befindet sich in einem Gebiet mit geringer Seismizität und ist nicht besonders stark von Oberflächenüberschwemmungen betroffen. Der durchschnittliche Niederschlag am Standort beträgt ca. 1.200 mm / Jahr. Die Umgebung ist ein landwirtschaftliches Gebiet mit einer spärlichen Bevölkerung. Die wichtigste lokale Industrie sind die Sellafield Works.

### 6.3.2 Lager-Design

---

Während der ersten 36 Betriebsjahre erfolgte die Entsorgung durch Kippen von Fässern, Beuteln und losen Abfälle in Gräben. Der erste Graben folgte dem Verlauf einer Eisenbahnstrecke durch den nördlichen Teil des heutigen Lagergeländes. Parallel zum ersten Graben wurden dann fünf größere Gräben ausgehoben. Die Gräben sind in Boden aus Ton mit geringer Permeabilität in einer Tiefe von 5 bis 8 m unter der Erdoberfläche. Die natürliche Tonschicht dient als wirksame Abdichtung zwischen den Gräben und dem Sandstein. Wenn der natürliche Ton lokal nicht vorhanden war, wurde Bentonit am Boden des Grabens eingebracht, um die Durchlässigkeit des Grabens zu verringern. Ein siebter Graben mit unregelmäßiger Form wurde ausgehoben, um das Gebiet in Richtung Nordosten voll auszunutzen. Die sieben Gräben, jeweils ca. 750 m lang und 30 m breit, haben ein Gefälle mit einfachen Abflüssen, die in Verbindung mit dem darunterliegenden Ton dazu dienen, infiltrierenden Regen oder Grundwasser bis zum südlichen Ende der Gräben zur Sammlung zu lenken. Bis 1991 wurde das gesammelte Sickerwasser in die Irische See eingeleitet. Die Gesamtfläche der Gräben beträgt etwa 160.000 m<sup>2</sup>.

Nach dem Einlagern in die Gräben wird der Abfall mit 1,5 m Deckmaterial verschlossen. Abgeschlossene Gräben wurden mit einem Erdhügel bedeckt, der eine undurchlässige Schicht enthält. Während der Entsorgung wurde der Abfall am Ende eines jeden Tages mit Erde und periodisch mit einer gehärteten Schicht bedeckt, um das weitere Laden von Abfällen zu erleichtern. Der Graben Nr. 7 wurde 1995 geschlossen.

Ab 1987 wurden die Entsorgungsvorgänge am Standort verbessert. Abhilfemaßnahmen wurden durchgeführt. Dies umfasste z.B. Installation von Trennwänden mit geringer Durchlässigkeit zur Begrenzung der Eindringmöglichkeiten von Grundwasser seitlich der Gräben und der Diffusion von Radionukliden. Es wurde auch zwischenzeitlich eine neue Füllung der Gräben und eine Modernisierung des Sickerwasserentwässerungssystems durchgeführt.

Die neueren Teile des Endlagers verfügen über ein Engineering-System für die Sicherheit. Dieses System umfasst verschiedene technische Barrieren, wie z. B. Kappen- und Trennwände, den Abfall selbst, das Verfüllmaterial und die Abfallbehältnisse.

Das erste Betongewölbe am LLWR-Standort wurde 1988 in Betrieb genommen. Das Gewölbe (Gewölbe 8) besteht aus drei Buchten und ist ungefähr 175 m breit und 200 bis 265 m lang. Die durchschnittliche Tiefe beträgt ca. 5 m und die Gesamtkapazität ca. 200.000 m<sup>3</sup>. Die Tiefe ermöglicht vier hohe Stapelung genormter ISO-Behälter mit halber Höhe.

Der Bau von Gewölbe 9 begann im Jahr 2008 und der Bau wurde im Dezember 2010 abgeschlossen. Es ist geplant, sechs zukünftige Entsorgungsgewölbe zu errichten. Um die Nutzung der Anlage zu maximieren, ist geplant zukünftige Gewölbe tiefer zu legen.

Die technische Struktur der Gewölbe besteht aus einem Betonsockel mit einer darunterliegenden Drainageschicht und Betonwänden. Die Struktur befindet sich unter der

Erde. Das Gewölbe ist von Abflüssen und Entwässerungsdecken umgeben, die Regenwasser von der Oberfläche der Gewölbebodenplatte sammeln und ableiten. Unter den Abflüssen der Platte und des Umfangs sammeln sich Grundwasser unter und um das Gewölbe. Wie bei den Gräben ist das Hauptmittel zur Eindämmung von Sickerwasser die natürlich vorkommende Tonschicht in einer Tiefe von ca. 5 m unter der Erde.

Eine endgültige Abdeckung dient dazu, das Eindringen von Wasser in die Abfälle und die Freisetzung von kontaminiertem Sickerwasser aus der Anlage zu verhindern. Daneben soll sie als Barriere zur Reduktion der Freisetzung radioaktiver Gase dienen und sicherstellen, dass die erosiven Wirkungen so weit wie möglich begrenzt sind.

### 6.3.3 Abfallverpackungen und Abfallmengen

---

Das LLWR in Drigg erhält Abfälle von einer Reihe von Verursachern, einschließlich Kernkraftwerken, Brennstoffkreislaufanlagen, Verteidigungsanlagen, allgemeine Industrie, Isotopenproduktionsstätten, Krankenhäuser, Universitäten und aus der Sanierung von historisch kontaminierten Standorten. Der Abfall umfasst z.B. leicht radioaktiven Abfall wie Papier, Verpackungsmaterial, Schutzkleidung, Elektrokabel, Altmetalle und Werkzeuge sowie Reaktorabfälle und andere Materialien.

Das ursprüngliche Konzept der Entsorgung in Gräben beinhaltete die Verpackung von Abfällen in 200 l Stahlfässern oder in Papiersäcken oder einzeln in starkes, undurchlässiges Verpackungsmaterial eingewickelt.

Die neue Abfallverpackung (Mitte der 90er Jahre eingeführt) basiert auf einer starken Verdichtung des Abfalls. Die Einlagerung erfolgt in 20 m<sup>3</sup> Stahlbehälter. Hohlräume innerhalb des Behälters werden zur Bildung eines festen Produktes verfüllt.

Abfallakzeptanzkriterien und die damit verbundene Abfallkontrolle befinden sich noch in Ausarbeitung.

Die Menge der entsorgten Abfälle stieg von Beginn der Entsorgungsarbeiten (1959) rasch bis Mitte der 1980er Jahre (Graben 7). Danach wurde ein Programm zur Abfallminimierung initialisiert, wodurch das Entsorgungsvolumen um den Faktor 3 verringert wurde.

Die Kapazität der Gräben und des Gewölbes 8 beträgt ca. 1.000.000 m<sup>3</sup>. Ca. 250.000 m<sup>3</sup> verpackte Betriebsabfälle und 550.000 m<sup>3</sup> verpackte Stilllegungsabfälle werden prognostiziert.

Das resultierende Gesamtvolumen an verpacktem Abfall beträgt ca. 1.800.000 m<sup>3</sup>.

LLW ist so beschaffen, dass es dazu neigt, routinemäßig mit kleinen Mengen einer Sorte von Radionukliden kontaminiert zu werden. Diese sind nahezu gleichmäßig verteilt zwischen Gräben und Gewölben proportional zur Volumenverteilung. Es gibt einige Nuklide, die diesem Trend nicht folgen:

- Calcium-41, Nickel-63 und Molybdän-93 sind als Aktivierungsprodukte in Stahl oder Beton aus Kernreaktoren enthalten
- Es wird erwartet, dass 98 % des Kohlenstoff-14 im LLWR in den zukünftigen Gewölben vorhanden sind. Kohlenstoff-14 ist ein Aktivierungsprodukt in Graphit, Stahl und Beton, das bei der Stilllegung von Kernreaktoren anfällt.
- Betalight (tritiumhaltige Leuchtquellen) Entsorgung in Graben 6 tragen ungefähr 66 % zum LLWR Tritium-Inventar bei.

### 6.3.4 Sicherheitsbewertungen

---

Gemäß den britischen Vorschriften muss der Sicherheitsnachweis die Einhaltung eines jährlichen Risikos von  $10^{-6}$  nachweisen. Darüber hinaus ist die Exposition gegenüber nichtmenschlicher Biota sowie die Exposition aufgrund von Schwermetallen anzugeben.

Kürzlich wurde für das LLWR ein Environmental Safety Case (ESC) durchgeführt. Die durchzuführende Sicherheitsanalyse ist von der Umweltbehörde in ihren „Leitlinien zu Zulassungsvoraussetzungen“ als „Satz von Angaben zur Umweltsicherheit bei der Entsorgung fester radioaktiver Abfälle begründet durch eine strukturierte Sammlung von Argumenten und Beweisen“ definiert.

Die Sicherheitsanalyse ist daher in drei Ebenen (technische Grundlagen als Basis, Berechnungen und Beweisführung und Sicherheitsargumente) unterteilt. Die Dokumentation des Sicherheitsnachweises ist umfangreich und umfasst mehrere Berichte für die jeweiligen Ebenen. Eine Reihe verschiedenster Szenarien wird behandelt.

Die Vorgaben für eine Bewertung der Phase nach Schließung des Lagers umfassen:

- Es sind alle vernünftigerweise praktikablen Maßnahmen zu treffen, um die Bildung von lokalisierten Konzentrationen spaltbarer Stoffe, die zur Kritikalität führen könnten, im Endlager zu verhindern.
- Der Sicherheitsnachweis für eine Endlageranlage muss nachweisen, dass solide Technik, Prinzipien und Praxis sowie gute Wissenschaft angewendet wurden.
- Es werden bestmögliche Mittel eingesetzt, um sicherzustellen, dass radiologische Beeinträchtigungen der Mitglieder der Öffentlichkeit unter Berücksichtigung

wirtschaftlicher und sozialer Faktoren so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar, gehalten werden.

- Die Auswirkungen unterschiedlicher wichtiger Entwurfsparameter sollen durch Variation der Parameter untersucht werden, um Merkmale, die die Leistung beeinflussen zu erkennen und eine optimierte Gestaltung des Systems zu ermöglichen.
- Das bewertete Risiko für ein repräsentatives Mitglied der potenziell höchstexponierten Gruppe sollte mit einem radiologischen Gesamtrisikoziel von  $10^{-6}$  pro Jahr vereinbar sein.
- Überschreitet das bewertete Risiko die Zielvorgabe von  $10^{-6}$  pro Jahr, muss nachgewiesen werden, dass das Design so optimiert ist, dass Änderungen zu unverhältnismäßig steigenden Ausgaben (ob in Zeit, Mühe oder Geld) im Vergleich zur erreichbaren Risikominderung führen.

### 6.3.5 Pläne für die Schließung

---

Der gesamte Bereich (Gewölbe und Gräben) wird mit einem integrierten mehrschichtigen Barrierensystem in Form einer Kuppel verschlossen. Jedes Gewölbe wird derart verschlossen, sobald dies nach dem Befüllen möglich ist.

Die aktive Sammlung und Verwaltung von Sickerwasser wird während des Betriebs und bis zu 100 Jahren fortgesetzt. Die Anlage bleibt mindestens für einen Zeitraum von 100 Jahren nach dem endgültigen Verschließen unter aktiver institutioneller Kontrolle. Während dieser Zeit wird die Standortbegrenzung beibehalten, um den unbefugten Zutritt zu verhindern. Während des Zeitraums der institutionellen Kontrolle werden Vorkehrungen getroffen, um die Kenntnis der Gefährlichkeit der Anlage nach ihrer endgültigen Schließung aufrechtzuerhalten.

### Genehmigung, Lizenzierung, Bewilligung

---

Die wichtigsten Rechtsvorschriften und Leitlinien für Gesundheit und Sicherheit bei der Planung, Errichtung, Betrieb und Verschluss eines Endlagers für radioaktive Abfälle umfassen:

- Gesetz über Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz usw., 1974 (HASAW-Gesetz).
- Management der Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften am Arbeitsplatz, 1992 (MHS AW).

- Gesetz über nukleare Anlagen (Nuclear Installations Act), 1965 (in der geänderten Fassung) (NIA).
- Verordnungen über ionisierende Strahlungen, 1999 (IRRs).
- Gesetz über radioaktive Stoffe (Radioactive Substances Act), 1993 (RSA 93).
- Bauvorschriften (Design und Management) (CDM) 1994.
- Umweltbehörde, Gesetz über radioaktive Stoffe (RSA), 1993 – Entsorgungseinrichtungen an Land für schwach- und mittelradioaktive Abfälle: Leitlinien zu Anforderungen zur Zulassung, Januar 1997.

Das HASAW-Gesetz erlegt den Arbeitgebern eine allgemeine Verpflichtung auf, soweit dies zumutbar praktikabel ist, die Gesundheit, Sicherheit und das Wohlergehen aller ihrer Mitarbeiter sicherzustellen und auch keine Personen, die nicht bei diesem Arbeitgeber beschäftigt sind, einem Risiko auszusetzen. Außerdem verlangt die Richtlinie der Europäischen Union über grundlegende Sicherheitsstandards (BSS), dass alle Expositionen durch Tätigkeiten mit radioaktiven Stoffen, Strahlenquellen und Strahleneinrichtungen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren „As Low As Reasonably Achievable“ (ALARA) gehalten werden. Nach dem HASAW-Gesetz sind sowohl allgemeine als auch radiologische Risiken „As Low As Reasonably Practicable“ (ALARP) zu halten. Nach beiden Vorgaben sind daher die Sicherheitsvorkehrungen zu optimieren.

Das Gesetz über Nukleare Anlagen erfordert von jedem, außer der Krone, eine von der Gesundheits- und Sicherheitsbehörde erteilte Lizenz vor dem Bau oder Betrieb einer Kernanlage. Die Gesundheits- und Sicherheitsbehörde knüpft Bedingungen an eine Standortlizenz, um den sicheren Betrieb der Anlage zu gewährleisten.

Die 1997 erlassenen Ergänzungen zum Gesetz über radioaktive Stoffe auf einem genehmigten Standort regeln die Entsorgung von radioaktivem Material einschließlich durch Flüssigkeits- und Lufteinleitung sowie durch Vergraben von festen Abfällen.

Für die Erteilung einer Lizenz ist – soweit in der Konzeptphase vernünftigerweise durchführbar – eine Sicherheitsbewertung für die Phase nach dem Verschluss zu erstellen, die zeigt, inwieweit ist, die generische Endlagergestaltung(en) die Leistungsstandards im „Radiological Protection Policy Manual“ und alle veröffentlichten regulatorischen Anforderungen erfüllen.

## 6.4 Rokkasho in Japan

---

In Japan wird die Entsorgung unter Verwendung von Betongewölben für erstarrte radioaktive Abfälle aus Kernreaktoren durchgeführt. Die Entsorgung von schwach radioaktiven Abfällen

folgt dem Grundkonzept, nach dem radioaktive Abfälle durch Verwendung technischer Strukturen wie Betongewölbe in geringen Tiefen endgelagert werden können.

Für Abfälle mit höheren Konzentrationen radioaktiver Stoffe ist als eine der Entsorgungsmöglichkeiten die Lagerung in mittlerer Tiefe geplant.

Das 1992 in Betrieb genommene Rokkasho Low Level Disposal Center wird von Japan Nuclear Fuel Limited (JNFL) betrieben.

### 6.4.1 Lage und geologische Bedingungen

---

Das Rokkasho LLW-Entsorgungszentrum befindet sich im nordöstlichen Teil des japanischen Festlandes in der Präfektur Aomori an der Nordspitze der Hauptinsel Honshu auf der Seite des Pazifischen Ozeans.

Das Endlager befindet sich in hügeligem Gelände und ist durch ein Tal von den Hügeln dahinter getrennt. Die Deponie befindet sich auf Terrassen etwa 30 bis 60 m über dem Meeresspiegel. Das Grundgestein unter der Anlage besteht aus tertiären Sandsteinen und Tuffstein. Quartäre Ablagerungen, die über dem tertiären Grundgestein liegen, bestehen hauptsächlich aus mittlerem bis groben Sand, Vulkanasche und Schwemmlandablagerungen (3 m dick).

Das Gelände befindet sich in einem Gebiet mit einem hohen Grundwasserspiegel etwa 2 m unter der Erdoberfläche. Der Grundwasserspiegel schwankt je nach Niederschlag ca. 2 m pro Jahr. Der durchschnittliche Niederschlag beträgt ca. 1.200 mm / Jahr. Die durchschnittliche Verdunstung beträgt 600 mm pro Jahr.

Mit Ausnahme des Entsorgungszentrums für schwach radioaktive Abfälle umfasst der Kernkomplex in Rokkasho eine Kernbrennelementerzeugungsanlage, ein Zwischenlager für hochradioaktive radioaktive Abfälle und eine Wiederaufbereitungsanlage.

### 6.4.2 Lager-Design

---

Die Sicherheit des Lagers wird durch ein Mehrbarrieren-System, das aus dem Abfallgebinde und den technischen Barrieren besteht, gewährleistet.

Die Entsorgungseinheiten sind in den Tertiärfelsen gebaut. Das Anlagendesign besteht aus zwei Untereinheiten mit einer Kapazität von jeweils 40.000 m<sup>3</sup> (~ 200.000 Fässer). Die erste Einheit umfasst 40 Stahlbetongruben (24 x 24 x 6 m) mit jeder weiteren Grube aufgeteilt in 16 Entsorgungszellen (6 x 6 x 6 m). Jede Zelle kann 320 Abfallgebinde enthalten.

Die Anlage der zweiten Einheit hat ein anderes Layout und wird insgesamt 16 Betongruben (36 x 37 x 7 m) mit 36 Zellen (6 x 6 x 7 m) in jeder Grube umfassen. Hier hält jede Zelle 360 Fässer mit hauptsächlich metallischen, plastischen und anderen nicht brennbaren Abfällen.

Das Innere der Entsorgungsbetongruben ist mit porösem Beton ausgekleidet, damit das Wasser abfließen kann, bevor es die Abfallgebinde berühren kann. Wenn eine Zelle mit Abfallgebinde gefüllt ist, wird ein temporärer Deckel auf der Zelle errichtet und Mörtel wird in die Zwischenräume zwischen den Abfallfässern gegossen. Inspektionstunnel sind um die Entsorgungsruben herum konstruiert, um das aus den Gruben austretende Wasser zu sammeln und zu überwachen.

Die Fässer werden in Stahlbetongruben (die Entsorgungszellen) mit einem darin unter einem Dach und Regenschild untergebrachten Kran platziert.

### 6.4.3 Abfallverpackungen und Abfallmengen

---

Die in der Anlage in Rokkasho entsorgten Abfallarten bestehen aus erstarrten flüssigen Abfallkonzentraten, verbrauchten Ionenaustauschermaterialien, Filterschlamm und andere Arten von Betriebsabfällen, die von Japans KKW's erzeugt werden.

In der ersten Einheit der Anlage werden homogene und gleichmäßig verfestigte Abfälle verbrauchter Harze, Filterschlämme und konzentrierte flüssige Abfälle entsorgt, in der zweiten Einheit der Anlage immobilisierte Abfälle von Metallen, Kunststoffen und anderen nicht brennbaren Materialien.

Die im Entsorgungszentrum für schwach radioaktive Abfälle eingegangenen radioaktiven Abfälle sind bereits mit Zement oder anderem Matrixmaterial verfestigt und in Stahlfässern eingekapselt. Die Abfallgebinde werden in Kernkraftwerken inspiziert, um sicherzustellen, dass sie vor dem Versand zur Abfallentsorgungseinrichtung den technischen Standards entsprechen.

Die Anlage wird derzeit für 200.000 m<sup>3</sup> in Betrieb genommen, was 1.200.000 Fässern entspricht. Es ist eine Erweiterung der Anlage auf 600.000 m<sup>3</sup> geplant.

### 6.4.4 Sicherheitsbewertungen

---

Das japanische Dosierungskriterium für die Sicherheit nach dem Schließen beträgt 0,01 mSv pro Jahr. Etwas höhere Exposition kann akzeptiert werden, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit als angemessen gering eingeschätzt wird.

Das Konzept in Japan ist, dass die Sicherheitsbestimmungen, die für die unterirdische Entsorgung gelten, schrittweise mit der Zeit reduziert werden können. Die Zeiträume, in denen die Sicherheitsbestimmungen in jeder Phase angewendet werden, sind wie folgt zusammengefasst:

- Erste Phase: (10–15 Jahre bis zur Platzierung der Abdeckung) unter Wahrung der Unversehrtheit der technischen Barrieren.
- Zweite Stufe: (30 Jahre, bis die Abdeckung stabil ist), Sicherung der Leistung von Barrieren.
- Dritte Stufe: (300 Jahre ab dem Ende der ersten Stufe) Verbot oder Einschränkung bestimmter Handlungen.
- Nach der Schließung: (Nach 300 Jahren) können Personen den Bereich betreten.

#### 6.4.5 Pläne für die Schließung

---

Nach dem Einlagern der Abfälle sind die Betongewölbe von einer Mischung aus Bentonit und Sand mit geringer Durchlässigkeit umgeben und von einer Schicht verdichteten Bodens mit geringerer Durchlässigkeit als der umgebende Boden bedeckt. Der Grundwasserspiegel befindet sich über dem Betongewölbe und der Bentonit- und Sandschicht.

### 6.5 VLJ Repository in Finland

---

In Finnland haben seit 1977 vier Kernkraftwerke LILW-Betriebsabfälle erzeugt. Die Abfallmengen aus anderen Quellen, z.B. Universitäten, Krankenhäuser, Industrie usw. machen nur etwa ein Prozent aus.

Die finnische Abfallbewirtschaftungspolitik basiert auf der Entsorgung von LILW in Lagerstätten in Gesteinshohlräume nahe der KKW-Standorte. Die Entwurfgrundlage ist die geologische Entsorgung, deren Sicherheit auf natürlichen und technischen Barrieren beruht. Das Entsorgungssystem soll den Abfall für einige hundert Jahre isolieren. Deshalb werden alle im KKW Olkiluoto anfallenden radioaktiven Abfälle mit niedrigem und mittlerem Gehalt (L / ILW) im 1992 in Betrieb genommenen Vor-Ort-Repository (VLJ-Repository; VLJ ist eine Abkürzung für das finnische Wort "voimalaitosjäte": gleich "Reaktorbetriebsabfall"). Das Endlager sowie die KKW-Einheiten werden von Teollisuuden Voima Oy (TVO) betrieben.

Eine ähnliche Anlage ist seit 1998 im KKW Loviisa in Betrieb. Die Designs der Endlager von Olkiluoto und Loviisa unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen geologischen

Gegebenheiten. Das Endlager in Olkiluoto verfügt über zwei vertikale Silos, während das Endlager in Loviisa über zwei horizontale Tunnel verfügt.

### 6.5.1 Lage und geologische Bedingungen

---

Die finnische Abfallbewirtschaftungspolitik basiert auf der Entsorgung von LILW an den KKW-Standorten. Das Lager Olkiluoto besteht hauptsächlich aus Glimmergneis, mit dem spärlich gebrochener Tonalit interkaliert ist.

### 6.5.2 Lager-Design

---

Das Endlager besteht aus zwei Silos mit einem Durchmesser von 24 m und einer Höhe von 34 m, die in einer Tiefe von 60–100 m im Grundgestein ausgegraben wurden. Der Silo für LLW ist ein Steinsilo ohne Innenraum Struktur. Der Silo für ILW hat ein Stahlbetonsilo-Gebäude im Inneren des Felsensilos.

Das Endlager ist so aufgebaut, dass seine langfristige Sicherheit auf mehreren aufeinander folgenden Barrieren, ein Engineered Barrier System (EBS) und das Natural Barrier System, beruht. Das technische Barrierensystem besteht aus dem festen Abfall und den Umhüllungen, den Silostrukturen und dem Verfüllmaterial. Verschluss- und Versiegelungsanordnungen haben die Funktion, Radionuklide zu verzögern und den Abfall mechanisch zu schützen.

Die Hauptverfüllmaterialien sind Schotter und Beton, wodurch die geochemischen Veränderungen aufgrund der Verfüllung moderat bleiben. Bei Bedarf kann das Schottergestein durch Sand oder Moräne ersetzt werden, aber auch in diesem Fall wird das lokale mineralogische Material bevorzugt.

### 6.5.3 Abfallverpackungen und Abfallmengen

---

Die Abfälle aus den KKW werden sowohl vorübergehend als auch endgültig in den Werken oder in ihrer unmittelbaren Umgebung konditioniert und verpackt.

Zu den niedrigaktiven Abfällen gehören feuerfeste Stoffe, Schutzfolien und Kleidung für die Wartung von Kraftwerken sowie Maschinenkomponenten und -rohre, die aus dem Kraftwerk entfernt wurden.

LLW wird in einer 200 l Stahlfässern verdichtet und die Fässer werden in Beton Boxen gepackt. Metallschrott wird ohne Behandlung in Betonkästen verpackt. Bei den verwendeten

Ionenaustauscherharzen zur Reinigung des Prozesswassers im Kraftwerk handelt es sich um mittelaktive Abfälle. Sie werden mit Bitumen gemischt und in Fässer gegossen, die im ILW-Teil des Endlagers gelagert sind. Zusätzlich zum bituminierte Abfall wird fester Abfall in Betonkästen im ILW-Silo entsorgt.

Das Aktivitätsinventar für die Leistungsbewertungsberechnungen basiert auf der Erfahrung an Abfallmengen und einer angemessenen Marge, die eingeführt wird, um die damit verbundenen Unsicherheiten und etwaige unerwartete Entwicklungen im Abfallaufkommen in der Zukunft zu berücksichtigen. Daher repräsentiert es nicht direkt die erwartete Aktivitätsakkumulation des Betriebsabfalls.

Gemäß den Plänen werden Stilllegungsabfälle zusammen mit den Betriebsabfällen an den Kraftwerksstandorten in unterirdischen Endlagern entsorgt.

#### 6.5.4 Sicherheitsbewertungen

---

Das finnische Dosiskriterium beträgt 0,10 mSv pro Jahr.

Die Sicherheitsbewertung wurde erstmals im Jahr 1998 durchgeführt. Die neueste Sicherheitsbewertung für VLJ ist nicht frei verfügbar.

Es gab hauptsächlich drei Arten von Szenarien für VLJ. Das Referenzszenario wurde definiert als Angabe der Maximalwerte, unterhalb derer die Aktivitätskonzentrationen in der Natur und die Exposition gegenüber dem Menschen mit einem hohen Maß an Sicherheit bestehen bleiben.

Das realistische Szenario verwendet weniger pessimistische Daten, während die Störfallszenarien die Folgen unwahrscheinlicher Ereignisse und Unfälle bewertet.

#### 6.5.5 Pläne für die Schließung

---

Beim Schließen werden die unteren Teile des Endlagers mit Schotter gefüllt. Die Lücke zwischen Gesteins- und Betonsilo wird ebenfalls mit Schotter gefüllt und der untere Teil mit Bentonit gemischt. Tunnel und Schächte werden an der Bodenoberfläche verfüllt und mit Beton verschlossen.

## 6.5.6 Genehmigung, Lizenzierung, Bewilligung

---

Um in Finnland eine Entsorgungsanlage zu errichten, muss die finnische Regierung den Antrag der Posiva Oy genehmigen. Die Entsorgung abgebrannter Brennelemente muss die bestehenden Gesetze und die Sicherheitshinweise der Behörden befolgen. Die Entscheidungsfindung ist im Kernenergiegesetz von 1987 geregelt. Der erste Schritt am Weg zu einem Endlager ist eine politische Grundsatzentscheidung, die eine Entscheidung zum Start des Standortprozesses enthält. Das finnische Atomenergiegesetz verlangt, dass eine Folgenabschätzung gemäß der diesbezüglichen Verordnung durchgeführt werden muss, bevor ein Antrag auf grundsätzliche Entscheidung gestellt werden kann. Wird ein Antrag auf eine Grundsatzentscheidung von der zuständigen Organisation eingebracht, konsultiert die Regierung das STUK und die betroffene Gemeinde um ihre Kommentare.

Diese Kommentare müssen dem Antragsteller gegenüber positiv sein, bevor die Regierung eine Stellungnahme abgeben kann. Ist die Entscheidung positiv, muss sie vom Parlament ratifiziert werden. Die Grundsatzentscheidung ist allerdings noch keine Baugenehmigung. Die Lizenz für Bau und Betrieb muss separat beantragt werden.

## 6.6 SFR in Schweden

---

SFR, das schwedische Endlager für kurzlebige niedrig- und mittelaktive Abfälle, wurde im Jahr 1988 in Betrieb genommen und hat eine Kapazität von 63.000 m<sup>3</sup> Abfall. Es dient als Endlager für LILW, die aus der schwedischen Kernenergie erzeugt werden. Radioaktive Abfälle aus medizinischer Versorgung, Forschung und Industrie werden ebenfalls bei SFR entsorgt.

SFR wurde von SKB errichtet und betrieben. SKB gehört den schwedischen Atomkraftwerken und ist mit der Verwaltung der verbrauchten schwedischen Nuklearbrennstoffe und der radioaktiven Abfälle beauftragt

Der Abfall wird in unterirdischen Gesteinshöhlen gelagert.

### 6.6.1 Lage und geologische Bedingungen

---

Das Endlager befindet sich in der Nähe des Kernkraftwerks in Forsmark, 50 Meter unter dem Meeresboden in kristallinem Grundgestein. Derzeit ist der Bereich über dem Endlager vom Meer bedeckt. Jedoch wird die anhaltende Verschiebung von Land (das Land steigt nach der letzten Eiszeit) am Standort zu erheblichen Veränderungen der geohydrologischen Bedingungen und des Oberflächenökosystems während der nächsten kommenden 10.000 Jahre führen. Dies wird in den Sicherheitsbewertungen berücksichtigt.

Bei der Errichtung des Endlagers wurde beschlossen, es in einer kerntechnischen Anlage zu platzieren. Bei der Standortauswahl stand die Ostseeküste im Mittelpunkt. Ein Gebiet außerhalb der Küste bei Forsmark wurde ausgewählt für Standortstudien. Diese zeigten aufgrund der ebenen Lage und der Lage unter dem Meeresboden geeignete Bedingungen, wie niedrige hydrologische Gradienten. Die Gesamtsituation bei Forsmark unter Wasser implizierte eine geringe Wahrscheinlichkeit für versehentliche Bohrungen in das Endlager in den ersten zweitausend Jahren; also jenem Zeitraum, in dem, wenn die Aktivitätsgehalte am höchsten sind, für versehentliche Bohrungen in das Endlager.

## 6.6.2 Lager-Design

---

Das Endlager SFR besteht aus vier 160 Meter langen Felsgewölben sowie einer Felshöhle mit einem 50 m hohen Betonsilo. Zwei parallele kilometerlange Zugangstunnel verbinden die Anlage mit der Bodenoberfläche.

Der Betonsilo, der von einem Tonpuffer umgeben ist, enthält ILW-Abfälle (Intermediate Level Waste) mit etwa 90 % des gesamten Aktivitätsgehalts in SFR. Der Abfall im Silo wird mit Zement oder Bitumen in Behältern aus Stahl oder Beton (Formen und Fässer) verfestigt. Die Behälter sind in den Schächten im Silo in Beton als erste Barriere eingebettet. Die nächste Barriere ist die fast einen Meter dicke Betonwand des Silos.

Zwischen der Außenwand des Silos und dem Felsen, der auch als Barriere fungiert, befindet sich eine dicke Schicht aus Bentonit-Ton. Der undurchlässige Ton verhindert, dass Grundwasser durch den Silo fließt. Ton wirkt auch als Filter und fängt alle Radionuklide ein, die aus dem Silo entweichen könnten. Außerdem schützt der Ton den Silo vor Bewegungen im Fels.

Die restlichen 10 % der Aktivität werden in jeweils vier weiteren einfachen 160 m langen Felsenkavernen entsorgt. In einer der vier Gesteinskavernen (BMA) werden auch mittelaktive Abfälle entsorgt, bei denen die externe Dosis aus den Abfällen so bemessen ist, dass eine Strahlenabschirmung erforderlich ist.

Die übrigen Kavernen dienen zur Entsorgung von schwachaktivem Abfall.

Die eingelagerten Abfallverpackungen bestehen hauptsächlich aus Fässern, und das Gewölbe besteht aus einer Anzahl von Abfalleinheiten. Die tragenden Bauteile des Gewölbes werden auf festem Fels errichtet. Die Bodenplatte basiert auf einer mit Kies geebneten Felsbasis. Die Bodenplatte, Wände und Bodenstrukturen bestehen aus Ortbeton. Die Wände und das Dach des Felsengewölbes sind mit Spritzbeton ausgekleidet. Ein vorgefertigter Betondeckel wird angebracht, nachdem die Einheiten mit Abfall gefüllt sind. Die Deckel bieten Strahlenschutz und Brandschutz. Eine weitere Betonschicht wird auf die vorgefertigten Deckel gegossen, um der Struktur zusätzliche Stabilität und Dichtheit zu verleihen.

Damit sind drei verschiedene Barrieren das Abfallgebäude, die Abteilstrukturen und das umgebende Gestein gegeben.

### 6.6.3 Abfallverpackungen und Abfallmengen

---

Die ursprüngliche Lizenz umfasste ein Gesamtabfallvolumen von 63.000 m<sup>3</sup> mit der Möglichkeit einer Erweiterung der Einrichtung. Im Jahr 2010 hatte SFR 33.900 m<sup>3</sup> Abfälle erhalten. Jährlich fallen ca. 1.000 m<sup>3</sup> Abfall an.

Der Abfall im Silo besteht hauptsächlich aus erstarrten Filterharzen, die als mittelaktive Abfälle eingestuft sind und enthält den größten Teil der Aktivität in der Einrichtung. Der Silo ist für 92 % des gesamten Aktivitätsinventars lizenziert.

Niedrigaktive Abfälle, die hauptsächlich aus Schutzkleidung bestehen, werden in der ISO-Standardfrachtcontainern in einem der vier Felsgewölbe deponiert.

Ein großer Teil des Abfallvolumens in SFR besteht aus Metallen, hauptsächlich Kohlenstoffstahl und Edelstahl. Altmetall entsteht hauptsächlich bei Wartungsarbeiten, wenn Geräte entsorgt oder modernisiert werden.

In Zukunft ist es die Absicht von SKB, dass die Anlage auch die Annahme von Stilllegungsabfällen sowie langlebige LILW ermöglicht.

Das Radionuklidinventar in SFR basiert auf Messungen von Cobalt-60 und Cäsium-137 in Abfällen und Messungen von Plutonium-239 und Plutonium-240 in Reaktorwasser. Das Inventar an Aktivitäten von anderen Radionukliden wird durch Multiplikation der gemessenen Aktivitäten mit nuklidspezifischen Korrelationsfaktoren abgeschätzt.

Die Zerfallsberechnungen der Aktivität in den eingelagerten Abfällen ergibt, dass 100 Jahre nach Schließung des Endlagers die Aktivität weniger als die Hälfte und nach 1.000 Jahren etwa 2 % der ursprünglichen Aktivität vorhanden ist.

### 6.6.4 Sicherheitsbewertungen

---

Die schwedischen Vorschriften legen fest, dass die folgenden Gesichtspunkte in die Sicherheitsbewertung einbezogen werden müssen:

- Das jährliche Risiko schädlicher Auswirkungen nach der Schließung überschreitet für eine Einzelperson in der Gruppe, die dem größten Risiko ausgesetzt ist 10<sup>-6</sup> pro Jahr nicht, was zu einer Dosis von 1,4x10<sup>-5</sup> Sv / Jahr führt.

- Beschreibung der Auswirkungen auf Biota.
- Folgen eines Eindringens.
- Detailliertere Bewertung für die ersten 1.000 Jahre nach Schließung.
- Kollektive Dosis, integriert über 10.000 Jahre für Freisetzungen während der ersten 1.000 Jahre.

Bei den seit 1983 in regelmäßigen Abständen erstellten Sicherheitsbewertungen hat SKB mögliche Auswirkungen durch Analyse einer Reihe möglicher Entwicklungen im Endlager bewertet. Es gibt ein erwartetes „Hauptscenario“, in dem verschiedene mögliche und plausible Varianten berücksichtigt wurden.

Darüber hinaus verlangen die Behörden die Bewertung einiger weniger wahrscheinlicher Szenarien und sogenannter „Residualszenarien“. Residualszenarien sind Szenarien, die unabhängig von den Wahrscheinlichkeiten ausgewählt und untersucht werden, um die Bedeutung einzelner Barrieren und deren Funktionen zu beleuchten.

### 6.6.5 Pläne für die Schließung

---

Seit dem Entwurf von SFR sind Schließungsmaßnahmen geplant. Es wird davon ausgegangen, dass die komplette Versiegelung und der Verschluss der Anlage nach Einlagerung aller Abfälle stattfindet. Die verschiedenen Teile der Anlage erfordern unterschiedliche Verschlussmittel.

Einige Maßnahmen werden während der Betriebszeit durchgeführt, z.B. Verschließen von Bohrlöchern und gefüllten Entsorgungskammern sobald ein Abteil in den Gewölben voll ist, wird es mit einem vorgefertigten Betondeckel verschlossen und zusätzlich wird nochmals Beton über den Deckel gegossen. Wenn dann das Gewölbe voll und bereit zum Schließen ist, wird ein Betonstopfen gegen den Tunnel des Felsgewölbes gegossen.

Das Felsgewölbe wird mit Kies gefüllt. Nach dem vollständigen Befüllen werden Betonstopfen gegen die verfüllten Tunnelknotenpunkte an beiden Enden des Gewölbes gegossen. Diese Stopfen sind ca. 5 m dick und dienen dazu einen Wasserfluss über das Tunnelsystem und den direkten Kontakt zwischen verschiedenen Felsgewölben zu verhindern.

### 6.6.6 Genehmigung, Lizenzierung, Bewilligung

---

Gemäß dem schwedischen Gesetz über nukleare Aktivitäten inspiziert die schwedische Strahlenschutzbehörde (Strålsäkerhetsmyndigheten, SKM) die Kernreaktoren und Anlagen zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente laufend. Eine weitere Voraussetzung ist, dass die

beteiligte Gemeinde ihre Zustimmung zum Standort des abgebrannten Kernbrennstoffs gibt. Die Regierung hat das Recht, unter Umständen das Veto der Gemeinden zu missachten, aber weder SKB noch das schwedische Parlament befürworten eine Standortwahl ohne Zustimmung der Gemeinde. Das Lizenzverfahren kann schrittweise bezogen auf die jeweiligen Aktivitäten beschrieben werden:

1. Nach der Machbarkeitsstudie erfolgt die Genehmigung des Programms für Standortuntersuchungen.
2. An die Standortuntersuchung schließt sich ein Antrag auf Standortermittlung und Baugenehmigung an.
3. Nach der detaillierten Charakterisierung und Konstruktion erfolgt ein Antrag auf Lizenz für den Erstbetrieb.
4. Nach der Inbetriebnahmephase folgt eine Evaluation und ein Antrag auf Lizenz für den regulären Betrieb.
5. Im Anschluss an den Regelbetrieb erfolgt eine Bewertung, ein Verschlussdesign und eine Beantragung für eine Schließungslizenz.
6. Danach wird die Anlage geschlossen und die Überwachungsphase nach der Schließung beginnt.

Auch für die geplante Kapselungsanlage ist eine Abfolge von Genehmigungen erforderlich.

1. Nach den Untersuchungen mit den Schwerpunkten Technik, Design und Standortwahl folgt ein Standortantrag und eine Baugenehmigung.
2. Nach dem Bau erfolgt die Beantragung einer Betriebsbewilligung für den Probebetrieb.
3. Nach dem Probebetrieb erfolgt die Beantragung einer Regelbetriebserlaubnis.
4. Regelbetrieb

Die meisten Genehmigungen werden in Übereinstimmung mit dem schwedischen Gesetz über Nukleare Aktivitäten und das Umweltgesetzbuch erteilt.

Im Dezember 1999 präsentierte SKB eine umfassende Bewertung der Langzeitsicherheit eines Tiefenlagers für verbrauchte Kernbrennstoff. Die Analysen wurden für drei Standorte mit unterschiedlichen geografischen und geologische Gegebenheiten durchgeführt. Die Sicherheitsanalyse konzentriert sich hauptsächlich auf vier verschiedene Bereiche: die Zusammensetzung des Brennstoffs selbst, des Kupferbehälters und des Gusseiseneinsatzes, die Qualität des Tons und die besonderen Langzeitbedingungen bezüglich der lokalen Geologie. Diese Variablen werden anhand von vier verschiedenen Szenarien untersucht.

Das erste Szenario beinhaltet unveränderte Bedingungen, während das zweite untersucht, wie das Endlager von sich ändernden Bedingungen wie Erdbeben und Erdrutschen betroffen sein kann. Laut SKB-Studien sind diese Beben und Rutschungen von untergeordneter Bedeutung und Intensität in Schweden und wird sich daher nicht auf das Endlager auswirken. Das dritte

Szenario beinhaltet veränderte Bedingungen aufgrund von Fehlern im Herstellungsprozess der Behälter. Die vielen Barrieren verhindern oder verlangsamen zumindest stark den Prozess, in dem Wasser an die Oberfläche gelangt. Eine neue Eiszeit bildet das vierte Szenario. Dies erhöht das Risiko der Behälter zu brechen erheblich, obwohl SKB glaubt, dass die Eisdecke die Felsen unter den obersten 500 Metern der Oberfläche nicht beeinträchtigen wird, was bedeutet, dass die Behälter eine Eiszeit wahrscheinlich überleben<sup>30</sup>.

## 7 Wirtschaftliche Aspekte

---

### 7.1 Spanien

---

Eine Gebühr auf die Stromrechnung finanziert die Entsorgung des Abfalls aus den Kernkraftwerken sowie deren Stilllegung. Andere Verursacher radioaktiver Abfälle zahlen Gebühren für die Behandlung und Entsorgung ihres Abfalls. Die gesammelten Gelder werden in einem Fonds gesammelt, der von ENRESA verwaltet wird. Es gibt einen interministeriellen Ausschuss, der die Finanzinvestitionen überwacht und weiterverfolgt. Die Gesamtkosten für die Abfallwirtschaft werden jedes Jahr überprüft und Einnahmen des Fonds an die Kosten unerwarteter Ereignisse oder ungeplante Unsicherheiten angepasst. Im Rahmen seiner Aufgaben legt das Ministerio de Industria, Turismo y Comercio die Jahresgebühr für die Verursacher radioaktiver Abfälle fest und genehmigt Zahlungen aus dem Abfallfonds.

Die Kosten für die Errichtung des Oberflächen-Endlagers El Cabril werden mit 126,6 Millionen Euro angegeben, davon entfallen 14 Millionen Euro auf die Planung und 8 Millionen Euro auf den Lizenzierungsprozess.

Die Gesamtkosten des spanischen Programms zur Entsorgung radioaktiver und nuklearer Abfälle bis 2070 werden geschätzt 9.799,6 Millionen Euro betragen. Das Management der hochradioaktiven Abfälle und das Rückbauprogramm machen dabei mit 5.823,5 Millionen Euro den wesentlichen Teil der Gesamtsumme aus.

---

<sup>30</sup> FUD 98, pp. 147–150 and *Djupförvar för använt kärnbränsle. SR 97 — Säkerheten efter förslutning*. Huvudrapport. Sammanfattning. November 1999.

## 7.2 Frankreich

---

Die Abfallverursacher sind für den größten Teil der Kosten des Managementprogramms radioaktiver Abfälle von ANDRA verantwortlich. Dazu wurden je nach Abfallart verschiedene Arten von Verträgen zwischen ANDRA und den Abfallverursachern geschlossen. So gibt es Jahresverträge, die die finanziellen Angelegenheiten für die Abgabe von Abfällen an ANDRA zur Entsorgung regeln und es bestehen Vorfinanzierungsverträge zur Finanzierung von Studien und anderen künftigen ANDRA-Ausgaben für Forschungseinrichtungen in Bezug auf Entsorgung.

Jeder potenzielle Standort oder jede potenzielle Region für Oberflächenuntersuchungen erhielt während der Vorphase 5 bis 10 Millionen Franc und jeder unterirdische Laborstandort oder jede Region erhält jährlich bis zum Abschluss der Untersuchungen 60 Millionen Franc.

Die Gesamtbaukosten für Standortscreening, Standortcharakterisierung und Anlagenbau der Anlage in L'Aube betragen insgesamt etwa 1,3 Milliarden Franc (etwa 392 Millionen Euro inflationsbereinigt) für eine Anlagenkapazität von 1 Million Kubikmeter Abfall. Die Kosten für die Standortauswahl und -charakterisierung, einschließlich kommunaler Anreize und öffentlicher Informationen betragen etwa 200 Millionen Franc (60,2 Millionen Euro). Anlagenbau einschließlich des Abfallbehandlungsgebäude, Zufahrtsstraße und Bahnterminal kosteten 1,1 Milliarden Franc (332 Millionen Euro).

Die jährlichen Betriebskosten werden ungefähr 200 Millionen Franc (60,2 Millionen Euro) betragen, davon entfallen 40 Millionen Franc (1,2 Millionen Euro) auf den Bau der einzelnen Lager-Kavernen. Die endgültigen Schließungskosten werden auf 700 Millionen Franc (211 Millionen Euro) geschätzt.

Damit ergeben sich für die Anlage in L'Aube durchschnittliche Gesamtkosten von 8.000 Franc pro Kubikmeter eingelagerten Abfalls (2.410 Euro/m<sup>3</sup>).

## 7.3 Großbritannien

---

Für die Entsorgungsanlage in Briggs konnten nur die Gesamtkosten für Planung und Errichtung in Höhe von 193,9 Millionen Euro recherchiert werden.

## 7.4 Finnland

---

Alle Kosten im Zusammenhang mit der Entsorgung nuklearer Abfälle gehen zu Lasten der Eigentümer des Kernreaktors. Die primäre Alternative zur Entsorgung nuklearer Abfälle wird

800 Millionen Euro kosten, bei einer berücksichtigten Lebensdauer der Reaktoren von vierzig Jahren. Die Mittel aus den Gebühren für die Nutzung von Kernenergie werden in der nationalen Nuklearabfallfonds. Ende 2020 befanden sich etwa 1,1 Milliarden Euro im Fonds.

Die Kosten für die Lager für schwach und mittelradioaktive Abfälle in Olkiluoto betragen inklusive Planung, Lizenzierung und Errichtung 35,6 Millionen Euro, davon entfielen 9,4 Millionen Euro auf die Planung und 0,9 Millionen Euro auf die Lizenzierung. Die Gesamtkosten für das vergleichbare Lager in Loviisa betragen 26,9 Millionen Euro.

## 7.5 Schweden

---

Laut Gesetz (das schwedische Gesetz über die Finanzierung zukünftiger Ausgaben für abgebrannte Kernbrennstoffe) müssen die Kernenergieunternehmen alle Kosten tragen, die in Schweden aus der Entsorgung nuklearer Abfälle anfallen. Jahresgebühren werden im Nuklearabfallfonds angesammelt und die Gelder werden auf verzinslichen Konten beim Nationalen Schuldenamt hinterlegt.

Die Kosten für den SFR Lagerkomplex für schwach und mittelradioaktive Abfälle (ohne den Teil für hochaktive Abfälle) betragen inklusive Planung, Lizenzierung und Errichtung 174,6 Millionen Euro, davon entfielen 8,5 Millionen Euro auf die Planung und 2,6 Millionen Euro auf die Lizenzierung.

## 8 Gesellschaftspolitische Aspekte

---

### 8.1 Spanien

---

#### 8.1.1 Der Standortprozess

---

Der PGRR 2006 sah die Schaffung eines *Centralised Temporary Storage* (CTS) also eines zentralen Zwischenlagers für hochaktiven Abfall und abgebrannte Brennelemente bis zum Bau einer endgültigen Entsorgungsanlage vor.

Das CTS sollte auch die Einlagerung der radioaktiven Abfälle aus dem Rückbau des Kernkraftwerks Vandellós I ermöglichen, die zurzeit in Frankreich zwischengelagert werden.

Im PGRR 2006 hieß es: „[...] Die vertraglichen Verpflichtungen sehen vor, dass sie muss zwischen 2010 und 2015 nach Spanien zurückkehren, und es gibt hohe wirtschaftliche Strafen, wenn der erste Transport, bei dem es sich um hochaktiven verglasten Abfall handeln muss, nicht vor dem 31. Dezember 2010 stattfinden“<sup>31</sup>.

Tatsächlich wurde die CTS-Anlage noch nicht gebaut und ENRESA muss seither mit einer täglichen Strafe von rund 75.000 Euro rechnen. Die Zahlungen würden dem Vertrag entsprechend nach Abzug von Wartungskosten wieder an ENRESA rückerstattet, sobald der Abfall zurückgeholt wird<sup>32</sup>.

2009 wurde mit der *Resolución de 23 de diciembre de 2009, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se efectúa la convocatoria pública para la selección de los municipios candidatos a albergar el emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado de combustible nuclear gastado y residuos radiactivos de alta actividad y su centro tecnológico asociado* eine öffentliche Ausschreibung für die Suche nach der Stadt, in der das CTS gebaut werden sollte, gestartet.

Mit der Veröffentlichung im Boletín Oficial del Estado (BOE) durch die Resolución de 18 de enero de 2012, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se publica el Acuerdo de Consejo de Ministros de 30 de diciembre de 2011, por el que se aprueba la designación del emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado de combustible nuclear gastado y residuos de alta actividad y su Centro Tecnológico Asociado, die Stadt Villar de Cañas (Cuenca) ausgewählt.

Während die Entscheidung von Villar de Cañas, sich für die öffentliche Ausschreibung zu bewerben, aufgrund der Notwendigkeit einer wirtschaftlichen Reaktivierung der Stadt einvernehmlich mit seinen Bürgerinnen und Bürgern war, entstand Widerstand aus den umliegenden Gebieten, einschließlich der Regierung der Autonomen Region. Die Junta de Castilla-La Mancha, versuchte, das Projekt durch den Rechtsakt Acuerdo de 28/07/2015, del Consejo de Gobierno, por el que se inicia el procedimiento para la ampliación del Espacio Protegido Red Natura 2000 Laguna del Hito (ES0000161) y de la modificación del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Reserva Natural de la Laguna Hito (i.e. die nationale Umsetzung der Richtlinie 2009/147/EG vom 30. November 2009 zur Erhaltung wildlebender Vögel) zu boykottieren.

Damit versuchte die Autonome Regierung, den Bau des CTS durch die Erweiterung eines durch das Natura-2000-Netz geschützten Gebiets zu blockieren. Nicht durch sie geschützt zu sein,

---

<sup>31</sup> MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, Borrador de 7º Plan General de Residuos Radiactivos, op. cit., p. 40; “ [...] los compromisos contractuales contemplan que deben volver a España entre los años 2010 y 2015, existiendo fuertes penalizaciones económicas si el primer transporte, que deberá ser de residuos vitrificados de alta actividad, no tiene lugar antes del 31 de diciembre de 2010” .

<sup>32</sup> ENRESA, Informe Anual 2018, 2019, p. 72-73.

war eine der Voraussetzungen für die Wahl des endgültigen Standorts und die Erweiterung des Naturschutzgebietes hätte Villar de Cañas in seinen Einflussbereich gebracht. Diese Entscheidung wurde von der Zentralregierung durch den Staatsanwalt angefochten, während der Tribunal Superior de Justicia de Castilla-La Mancha als Vorsichtsmaßnahme die Aussetzung der Baubewilligung erlassen hat. Der spanische Oberste Gerichtshof entschied zugunsten des Zwischenlagers und unterstrich in seinem Urteil die Bedeutung der sicheren Entsorgung radioaktiver Abfälle insbesondere für zukünftige Generationen. Rechtsgrundlage bildet, dass eine Maßnahme einer regionalen Regierung einer autonomen Region nicht den Interessen des spanischen Staates im Weg stehen darf<sup>33</sup>.

Die Entscheidung des Obersten Gerichtshofs kam allerdings zu spät, da zwei Wochen zuvor das Ministerio para la Transición Ecológica beschlossen hat, die Baugenehmigung für das CTS auszusetzen. Grundlage dieser Entscheidung war die Notwendigkeit eines neuen PGRR, der den Plan Nacional Integrado de Energía y Clima zu berücksichtigen hat. Der erste Entwurf des 7. PGRR sieht die Verfügbarkeit eines CTS bis zum Jahr 2028 vor<sup>34</sup>. Die Anlage soll 60 Jahre im Betrieb bleiben, da mit der Errichtung eines geologischen Tiefenlagers nicht vor 2073 gerechnet wird<sup>35</sup>.

## 8.1.2 Die Rolle von Politikern und der öffentlichen Meinung

---

Die Regierung genehmigt den allgemeinen Plan für radioaktive Abfälle (PGRR), in dem die wichtigsten Strategien und Aktivitäten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle dargelegt werden. Genehmigt die Regierung einen neuen Plan, wird dieses Dokument dem Parlament zur Information übermittelt.

Im Allgemeinen trägt das Ministerio de Industria, Turismo y Comercio die Gesamtverantwortung für die Durchführung des Prozesses der Entsorgung radioaktiver Abfälle. ENRESA ist verpflichtet, jedes Jahr einen Entwurf einer neuen Entwurfsfassung des PGRR an das Ministerio de Industria, Turismo y Comercio entsprechend der neuen Informationen über technische, wirtschaftliche und finanzielle Voraussetzungen zu übermitteln. Das Ministerio de Industria, Turismo y Comercio den Plan mit eigener Stellungnahme an die Regierung zur Genehmigung. Darüber hinaus werden die Situation und

---

<sup>33</sup> TRIBUNAL SUPERIOR DE JUSTICIA DE CASTILLA-LA MANCHA (Sala de lo Contencioso-administrativo, Sección 1ª), judgement 209/2018, of 30th July (Rec. 412/2015); “ Perseguir una finalidad subrepticia de obstrucción del ejercicio de la competencia estatal, amparándose en la apariencia de la necesidad de ampliación y conservación de espacios naturales, por muy loable que pueda resultar tal propósito”

<sup>34</sup> MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, Borrador de 7º Plan General de Residuos Radiactivos, op. cit., p. 13

<sup>35</sup> MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, Borrador de 7º Plan General de Residuos Radiactivos, op. cit., p. 53.

Prognosen der Abfallwirtschaft im Kongress und im Senat, in den entsprechenden Kommissionen periodisch besprochen.

Derzeit hat die Öffentlichkeit die Möglichkeit, direkt an den Verfahren zu den verschiedenen Lizenzen während des Prozesses der Ausstellung der Umweltverträglichkeitserklärung mitzuwirken. Regionale Genehmigungsverfahren in den autonomen Regionen sind ebenfalls offen die lokalen Behörden und interessierte Parteien zu berücksichtigen. Die Anträge werden öffentlich gemacht und Kommentare, Beschwerden oder Stellungnahmen können abgegeben werden. Im Falle des Rückbaus einer Kernanlage sieht das Gesetz vor, dass ein Informationsausschuss unter der Leitung eines Vertreters des zuständigen Ministeriums errichtet werden.

Die Erfahrungen der Vergangenheit zeigen, dass obwohl das allgemeine Vertrauens in die Entsorgung radioaktiver Abfälle auf nationaler Ebene sehr gering ist, kann auf lokaler Ebene, wo Informationskampagnen systematisch durchgeführt wurden, die öffentliche Wahrnehmung deutlich positiver sein. Einige Umfragen, die in der Nähe von ENRESA-Einrichtungen durchgeführt wurden, deuten darauf hin, dass zwar die in der Nähe der Anlagen von ENRESA lebenden Menschen diese Einrichtungen nicht mögen, sie vertrauen jedoch der Arbeit von ENRESA und dem Personal. In diesen Fällen wurde der Standortwahlprozess erfolgreich durch Informationsausschüsse, vollständige Offenlegung der Projekte, Informationszentren und Informationskampagnen und lokale Mitarbeiterbeteiligung begleitet. Diese Situation zeigt sich in El Cabril, Vandellós I und bei der Schließung und Demontage von Andújar, einem stillgelegten Uranbergwerk.

Im Gegensatz dazu griff die Öffentlichkeit stark in den Entscheidungsprozess ein als es Versuche gab, eine unterirdische Forschungseinrichtung zu errichten (1987) und eine Bestandsaufnahme der günstigsten Gebiete für ein geologisches Tiefenlager für verbrauchte Kernbrennstoffe durchzuführen. Beide Prozesse wurden aufgrund sozialer Unruhen gestoppt. 1996 beschloss die Regierung daher den Forschungsplan für ein geologisches Tiefenlager zu unterbrechen und die Strategie für hochaktive Abfälle zu überdenken.

## Information und Kommunikation

---

*Der 5. Allgemeine Plan für radioaktive Abfälle betont, dass „jede Maßnahme in diesem Bereich (Standort eines unterirdischen Endlagers) erfordert weitreichendste Kommunikationskampagnen, um die Öffentlichkeit mit allen möglichen Informationen zu versorgen. Dies ist besonders wichtig wegen der hohen sozialen Sensibilität für Fragen im Zusammenhang mit radioaktiven Abfällen.“*

Nach der Gründung von ENRESA wurden die ersten Kommunikationsmaßnahmen ergriffen. 1990 wurde der erste Kommunikationsplan mit dem Ziel der öffentlichen Akzeptanz in der Gegend von El Cabril umgesetzt. Der 2. Kommunikationsplan, herausgegeben 1994, richtete

sich an eine breitere Öffentlichkeit und versuchte, über die gesamten Aktivitäten von ENRESA zu informieren.

Der aktuelle Plan, der 1998 genehmigt wurde, wurde auf zwei Hauptachsen entwickelt:

- a) Ausbildung/Information,
- b) Kommunikation mit den Medien.

Die strategischen Leitlinien von ENRESA für Information und Kommunikation sind:

1. Umfassende, transparente und sachliche Informationen für die verschiedenen sozialen Sektoren.
2. Schulung zu spezifischen Themen für in verwandten Angelegenheiten tätigen Universitätsstudenten.
3. Einhaltung der Vorschriften über die Mittelzuweisung an die Gemeinden in der Nähe der Anlagen von ENRESA.
4. Zusammenarbeit mit den lokalen Behörden zur Verbesserung der Ressourcen und Infrastrukturen der Bereiche rund um die Anlagen von ENRESA.

ENRESA informiert über fünf Informationszentren, die sich dort befinden, wo das Unternehmen arbeitet: Madrid, Andújar Uranmine, Córdoba, El Cabril und Vandellós.

Im Jahr 2000 besuchten rund 26.000 Menschen diese Büros. Auch die Kommunikation mit den Medien ist eine große Aufgabe, die durch die Veröffentlichung von Nachrichten, Berichten, Seminaren mit den Journalisten und Teilnahme an Radio- und Fernsehdebatten erfolgt. Im vergangenen Jahr waren rund 784 Nachrichten in den gesamten spanischen Medien aufgezeichnet. Die Bewertung des freigegebenen Materials war gut, wobei die meisten Nachrichten (65 %) sich dem Thema Entsorgung radioaktiver Abfälle neutral bis positiv annähern.

Die Ausbildung von Studenten und Jugendlichen in der Abfallwirtschaft wird hauptsächlich durch Kurse und Seminare durchgeführt.

In regelmäßigen Abständen und zusätzlich zu den gesetzlich vorgeschriebenen Kontrollen erscheinen Vertreter des Unternehmens vor den jeweiligen Kommissionen des Kongresses und des Senats des Nationalparlaments. Regelmäßig finden auch Treffen mit den Parlamentsabgeordneten und Meinungsbildnern, die eng mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle verbunden sind, statt.

In Zusammenarbeit mit den lokalen politischen Behörden werden von ENRESA Schulungsprogramme für potenzielle Mitarbeiter umgesetzt und die Nutzung lokaler Ressourcen bevorzugt.

## 8.2 Frankreich

---

### 8.2.1 Der Standortprozess

---

Das Abfallwirtschaftsprogramm wurde einer Regierungskommission unter dem Vorsitz von Professor Castaing<sup>36</sup> im Oktober 1982 vorgelegt. Die Castaing-Kommission schickte die Ergebnisse ihrer Überprüfung an den Hohen Rat für nukleare Sicherheit, der am 19. April 1983 eine Empfehlung veröffentlichte, in der die Suche nach zwei neuen oberflächennahen Deponien gefordert wird.

Gestützt auf die Empfehlung des Hohen Rates für nukleare Sicherheit vom April 1983 über grundlegende Sicherheitsregeln, die im Juni 1984 veröffentlicht wurde, und auf ihre Erfahrung aus La Manche wurde von ANDRA für das Oberflächen-Endlager ein Anforderungskatalog an die geologischen Gegebenheiten festgelegt, der die Modellierung, Überwachung und Sicherheitsanalyse erleichtern sollte. Sanfte Topographien mit Aufschlüssen von Sediment Formationen, bei denen am höchsten Punkt eine halbdurchlässige Formation einen undurchlässigen Untergrund überdeckt. Es wurde auch gefordert, dass die Entwässerung des Gebietes über der undurchlässigen Formation erfolgt, wobei darin das gesamte Grundwasser des Standorts gesammelt werden sollte.

Ein nationales Inventar potenzieller Standorte wurde auf das konzeptionelle Modell überprüft und die Standorte wurden aufgrund ihrer seismischen, geotektonischen und hydrogeologischen Eigenschaften sowie der Geochemie der Gesteine ausgewählt. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Liste der bevorzugten Standorte dem Industrieministerium zur endgültigen Prüfung, Auswahl und Bekanntgabe an die Öffentlichkeit vorgelegt.

Am 19. Juni 1984, nach Genehmigung des umfassenden Abfallwirtschaftsprogramms von ANDRA, kündigte der Staatssekretär für Energie öffentlich die Absicht der Regierung an, dass ein zweites Endlager für kurzlebige, schwach radioaktive Abfälle errichtet werden soll. Auf die Aufforderung an die Regionen bzw. Städte sich freiwillig für die Einrichtung der Anlage zu melden, erklärten die Städte Cholet und Neuvy-le-Roi ihre Bereitschaft das Lager in ihrem Zuständigkeitsbereich zu errichten. Die Arbeiten zur Standortcharakterisierung begannen im Oktober 1984 in den Departements Indre und Aube und später im Departement Vienne, die alle in geologischen Regionen liegen, die im Site-Screening-Programm als günstig festgelegt wurden. Die Standortcharakterisierung in der Gemeinde Cholet begann im Januar 1985.

---

<sup>36</sup> Raimond Bernard René Castaing (\* 28. Dezember 1921 in Monaco; † 10. April 1998) war 1968 bis 1973 wissenschaftlicher Direktor, später Generaldirektor der staatlichen Weltraumforschungsorganisation ONERA. Ab 1982 war Castaing im nationalen französischen Rat für Fragen der Reaktorsicherheit und ab 1987 im nationalen französischen Komitee für Kernenergie.

Nach Vorlage eines Vorcharakterisierungsberichts wurde ANDRA ermächtigt, die Arbeiten in Aube im Juli 1985 fortzusetzen, um einen formalen Lizenzantrag nach Französisches Recht stellen zu können. Von September bis November 1986 fanden obligatorische öffentliche Anhörungen statt. Der Premierminister unterzeichnete am 22. Juli die Erklärung zum öffentlichen Nutzen für das Aube-Projekt.

1987 wurde ANDRA ermächtigt Land für das Projekt zu kaufen. Die Räumungsgenehmigung wurde am 24. August 1987 vom Landwirtschaftsminister unterzeichnet und die notwendige Abholzung wurde im Frühjahr 1988 vorgenommen. Die Baugenehmigung wurde am 11. Oktober 1988 erteilt, und unmittelbar danach begannen die Aushubarbeiten.

1987 initiierte ANDRA einen weiteren Standortauswahlprozess und entwickelte einen Standortplan von vier Standorten für ein geologisches Tiefenlager. Gegen diesen Vorschlag brachen 1990 Proteste von verschiedenen Organisationen, Bevölkerung und Politikern aus. Eine parlamentarische Kommission hielt 1990 fest, dass die Situation nicht akzeptabel sein und es sollte eine andere verantwortungsvollere Lösung geschaffen werden.

Es bestand die Notwendigkeit die verwendeten Methoden zu ändern. Die erste Maßnahme bestand darin, die Forschung für andere Alternativen als die Tiefenlagerung zu öffnen. Die zweite war die Einbindung der Bevölkerung und der gewählten Vertreter und Vertreterinnen in die Entscheidungsfindung. Das neue Motto lautete: Verantwortung, Transparenz und Demokratie. Das Thema Verantwortung fokussiert die Fähigkeit, sich um den französischen Abfall in Frankreich zu kümmern und auch die Situation in der Gegenwart zu lösen und nicht den zukünftigen Generationen zu überlassen. Die französischen Bürgerinnen und Bürger müssen in der Lage sein am Entscheidungsprozess mitzuwirken und alle relevanten Informationen erhalten. Als ein Zeichen dieser Bemühungen wurde 1991 das Gesetz über die Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (Loi Bataille) geschaffen. Mit dem Gesetz wurde eine neue kollektive Sichtweise auf das Thema eingeführt, da es besagt, dass jeder Franzose und jede Französin verantwortlich für die radioaktiven Abfälle Frankreichs ist.

Das Gesetz besagt weiters, dass die gewählten Vertreter und Vertreterinnen und die Bevölkerung über die Errichtung unterirdischer Forschungseinrichtungen zur Lagerung radioaktiver Abfälle informiert werden müssen und verbietet die Abfalllagerung in diesen Einrichtungen. Nach dem Gesetz müssen für jede derartige unterirdische Forschungseinrichtung vor Ort Informations- und Follow-up-Ausschüsse, bestehend aus gewählten Vertretern und Vertreterinnen, Vertretern und Vertreterinnen der Regierung, Umweltgruppen, Gewerkschaften, Vertretern und Vertreterinnen anderer Vereine und den Verantwortlichen der Forschungseinrichtung eingerichtet werden. Diese Ausschüsse können öffentliche Anhörungen ansetzen und werden finanziell unterstützt von ANDRA.

1992 wurde von der Regierung ein Mediator eingesetzt, um eine Lösung für das Standortproblem zu finden. Im Jahr 1993 wurde der Mediationsbericht vorgelegt in dem vier Regionen (Départements) vorgeschlagen wurden.

Die Auswahl erfolgte nach zwei Kriterien. Zunächst wurden alle Bewerber aus geologisch ungeeigneten Regionen verworfen, so dass 10 Alternativen übrigblieben. Der Zweite Kriterium war Konsens. Von den zehn Alternativen wurden 1993 Verhandlungen mit den Regionen Gard in Südfrankreich (Tonformation), Maas und Haute-Marne in Ostfrankreich (eine andere Art von Tonformation) und Vienne in Westfrankreich (Granit Formation) eingeleitet. ANDRA erhielt 1994 die staatliche Genehmigung zur Durchführung von Testbohrungen in diesen Gebieten und der erste Bericht wurde 1995 erstellt und die Departements Haute-Marne und Maas wurden aufgrund geologischer Ähnlichkeiten als potentiell geeignete Standort angesehen. 1996 wurde ein weiterer Bericht herausgegeben, der die geologischen Qualitäten bestätigte und ANDRA reichte im selben Jahr einen Implementierungs- und Betriebsgenehmigungsantrag an die Regierung ein.

ANDRA beantragte den Bau von Forschungseinrichtungen in Vienne bezüglich Granitfelsen, in Gard bezüglich Tonformationen und in Maas/Haute Marne in Bezug auf Ton. Die Öffentlichkeit wurde in den Prozess eingebunden und es gab verschiedene Abstimmungen mit positiven Ergebnissen. Die Informations- und Follow-up-Gremien, veröffentlichten regelmäßig Informationen über den Prozess auf verschiedenen Wegen wie Zeitungen, Konferenzen, Anhörungen usw.

Die aktuelle Strategie Frankreichs zur Entsorgung von radioaktiven Abfällen ist im Rahmen des CIGÉO-Projekts festgelegt, das darauf abzielt, ein geologisches Tiefenlager für radioaktive Abfälle zu errichten. Der nächste Schritt nach der Errichtung der Forschungseinrichtungen in der Entwicklung des CIGÉO-Projekts war das Loi n° 2006-739 am 28. Juni 2006. Mit diesem Gesetz wurde die Bevorzugung geologischer Tiefenlager für die Abfälle aus der Nuklearindustrie festgelegt. Es ist geplant, dass das Lager CIGÉO im Osten Frankreichs an der Grenze zwischen Maas und Haute-Marne errichtet wird. Der Standort wurde ausgewählt nachdem sich gezeigt hat, dass sich in etwa 500 Metern Tiefe unter der Erde eine Schicht von Tongestein befindet, das mit seinen Durchlässigkeitseigenschaften den Abfall über lange Zeitskalen sicher einschließen könnte. Das Lager soll mindestens 100 Jahre in Betrieb sein, aber es ist so konzipiert, dass eine Rückholung des Abfalls möglich ist, um für zukünftige Generationen die Möglichkeit der Rückholung des Abfalls für den Fall, dass andere Methoden einer sicheren Entsorgung gefunden werden. Im Jahr 2018 beantragte ANDRA bei der französischen Regierung eine Genehmigung zum Bau des Endlagers, aber die Erteilung der Bewilligung zum Bau ist ausständig.

## 8.2.2 Die Rolle von Politikern und der öffentlichen Meinung

---

Entsprechend der französischen Gesetzgebung hat die Regierung alle von ANDRA erstellten Unterlagen und die Forschung bezüglich der Entsorgung der radioaktiven und nuklearen Abfälle zu bewerten und das Parlament schließlich die Entscheidung über die Standortwahl zu treffen. Die Sicherheitsbehörde übt die exekutive Kontrolle und das Parlamentarische Amt für

die Bewertung wissenschaftlicher und technologischer Entscheidungen die legislative Kontrolle aus. Die Nationale Evaluierungskommission führt eine wissenschaftliche Bewertung auf der Grundlage der Forschung und Anhörungen zu ihren Ergebnissen durch, die sie danach in Berichtsform an die Exekutive und Legislative zu übermitteln hat. Die Nationale Evaluierungskommission berät darüber hinaus die Politik und veröffentlicht die Entwicklungen in einem Jahresbericht.

Die Bevölkerung hatte im Rahmen der Standortsuche keine direkte Einflussmöglichkeit auf die Regierungsentscheidungen, aber ANDRA hielt 1999 öffentliche Sitzungen und Ausschüsse ab, damit die Öffentlichkeit Gelegenheit für eine Stellungnahme zur Entsorgung nuklearer Abfälle bekam. Es gab Sonderabstimmungen über den Bau der unterirdischen Forschungseinrichtungen in den Regionen. Zukünftig sollen entsprechend der Gesetzesänderungen die Bürgerinnen und Bürger relativ früh in den Prozess einsteigen können.

Volksabstimmungen als Mittel zur Beteiligung der Öffentlichkeit an der Entscheidungsfindung können nur auf nationaler Ebene organisiert werden und können ausschließlich bestimmte in der französischen Verfassung festgelegte Fragen ansprechen. Lokale Volksabstimmungen sind in Frankreich nicht legal.

### 8.2.3 Information und Kommunikation

---

Die lokalen Informations- und Follow-up-Gremien sind ein wichtiger Akteur, da in ihnen Vertreter und Vertreterinnen der Regierung, des Parlaments, der Regionen, der Umweltschutzgruppen, Gewerkschaften, sonstige Verbände, Baustellenpersonal etc. vertreten sind. Diese Gremien sind auch für die Bereitstellung von Informationen für die Bevölkerung zuständig und können Informationen an das National Review Board weiterleiten. ANDRA ist für die Bildung dieser Gremien und deren Finanzierung verantwortlich.

Der Öffentlichkeit zugängliche Informationen über das Entsorgungsverfahren für radioaktive und nukleare Abfälle in Frankreich betrifft Informationen zum Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung insbesondere für die unterirdischen Forschungseinrichtungen. Es gibt auch einige Informationen auf der ANDRA-Website. Die Nationale Evaluierungskommission erstellt zudem auch öffentlich zugängliche Berichte.

Eine Erfahrung mit Bürgerbeteiligung kann aus dem Centre de l'Aube gewonnen werden. Zwei separate Fonds wurden für die lokale Bevölkerung vor Ort eingerichtet, einer zur Verbesserung der Lebensbedingungen in den Städten und Dörfern und der andere zur Förderung der lokalen Wirtschaft und des Tourismus. Das hat die Beziehungen Anlagenbetreiber und Einheimischen positiv beeinflusst.

Informationen zu allen Seiten des Betriebs wie Informationen über operative Ergebnisse, Umweltauswirkungen, potenzielle Zwischenfälle usw. werden den lokalen gewählten Amtsträgern zur Verfügung gestellt. Alle drei Monate gibt es ein Paket mit neuen Informationen und ein Jahresbericht wird dem lokalen Informationskomitee übermittelt. Daneben gibt es Tage der offenen Tür und ganzjährig die Möglichkeit zur Besichtigung der Anlage.

## 8.3 Großbritannien

---

### 8.3.1 Der Standortprozess

---

1987 startete Nirex eine Standortauswahl für ein Tiefenlager für schwach und mittelradioaktive Abfälle. Etwa 30 % der britischen Landmasse wurden als potenziell geeignet erachtet eine Einrichtung zu beherbergen. Bis 1989 wurde die Liste der Standorte auf 12 reduziert, aus denen Sellafield und Dounreay zuerst zur Untersuchung ausgewählt wurden (da beide über nukleare Anlagen verfügten)<sup>37</sup>. Nach etwa zwei Jahren oberflächenbasierter Untersuchungen an beiden Standorten beschloss Nirex 1991 seine Bemühungen auf Sellafield zu konzentrieren, da rund 65 % der zu entsorgenden Abfälle aus der nahegelegenen Wiederaufbereitungsanlage stammen würden.

1994 beantragte Nirex beim Cumbria County Council (Lokalregierung) die Planungsgenehmigung für den Bau der Rock Characterization Facility, einer unterirdischen Forschungseinrichtung). Diese Erlaubnis wurde verweigert und so beanspruchte Nirex diese Entscheidung beim Staatssekretär für Umwelt. Dies löste eine öffentliche Untersuchung nach britischem Recht des Antrags aus, die zwischen September 1995 und Februar 1996 stattfand. Der Inquiry Inspector empfahl daraufhin die Berufung zurückzuweisen und der Staatssekretär gab im März 1997 bekannt, dass er dieser Empfehlung zustimmt<sup>38</sup>.

Seit der Ablehnung im März 1997 wurde die Entsorgungspolitik der Regierung vom House of Lords Select Committee on Science and Technology überprüft, das seine Feststellungen im März 1999 veröffentlichte. Darin wurde unter anderem ein Stufenprozess für die Entsorgung radioaktiver Abfälle vorgeschlagen, der innerhalb von 24 Jahren nach dem Start umgesetzt werden könnte. Die Regierung kündigte daraufhin dem House of Lords in der Beantwortung der Vorschläge an, dass eine „Consultation exercise“ stattfinden würde, bei der alle Optionen

---

<sup>37</sup> Nirex, Deep Repository Project – Preliminary Environmental and Radiological Assessment and Preliminary Safety Report, Nirex Report 71, 1989.

<sup>38</sup> House of Lords Select Committee on Science and Technology, *Management of Nuclear Waste – 3<sup>rd</sup> Report: Session 1998–99*, London: The Stationery Office.

für ein langfristiges Management radioaktiver Abfälle – nicht beschränkt auf deren Entsorgung – berücksichtigt werden würden<sup>39</sup>.

### 8.3.2 Die Rolle von Politikern und der öffentlichen Meinung

---

Die Politik spielt in Großbritannien eine wichtige Rolle bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle, insbesondere in der Rolle des politischen Entscheidungsträgers. In einem Bericht des House of Lords im Jahr 1999 werden verschiedene Themen diskutiert und die Bedeutung des Fortschritts und eines offenen Prozesses, in dem viele Akteure beteiligt sein können, wird betont. Es ist jedoch auch wichtig, klare Rollen zu schaffen, und es war ein institutionelles Problem im Vereinigten Königreich, das mehrere Akteure überlappende oder unklare Rollen haben können.

Es wurden Richtlinien<sup>40</sup> aufgestellt, um die Bürger und Bürgerinnen zu erreichen:

- Das Entsorgungsunternehmen sollte allen Parteien auf Anfrage Informationen zur Verfügung stellen.
- Der Entscheidungsprozess muss offen sein.
- Offenheit sollte das Schlüsselkonzept für das gesamte Personal sein.
- Es sollte einen konstruktiven Dialog mit den Stakeholdern geben.
- Ständiges Feedback ist in jeder Phase des Prozesses erforderlich.

### 8.3.3 Information und Kommunikation

---

Während die Politik der National Decommissioning Authority auf Offenheit bezüglich seiner Informationen über radioaktive Abfälle ausgelegt ist, wird von der NDA auch festgehalten, dass Unterlagen, welche die nationale Sicherheit, die Privatsphäre, das Geschäftsgeheimnis oder private Beratungen betreffen, nicht freigegeben werden. Eine antragstellende Person kann sich an ein unabhängiges Transparenzprüfungsgremium wenden. Der heutige Prozess scheint sich auf einen schrittweisen Ansatz zu konzentrieren, bei dem die Öffentlichkeit am Prozess teilnehmen soll. Die Experten und Expertinnen sind immer noch wichtig, aber die

---

<sup>39</sup> Department of the Environment, Transport and the Regions, The Government's Response to the House of Lords Select Committee on Science and Technology Report on the Management of Nuclear Waste, 25 October 1999.

<sup>40</sup> UK CEED, *Report of UK CEED Consensus Conference on Radioactive Waste*, May 1999, UK CEED Peterborough (UK), 1999.

ganze Gesellschaft sollte Erkenntnisse zu diesem Thema gewinnen. Die NDA hält die Beteiligung der Öffentlichkeit für entscheidend für den gesamten Prozess des Managements radioaktiver Abfälle.

## 8.4 Finnland

---

### 8.4.1 Der Standortprozess

---

1987 wurden fünf Standorte für die vorläufige Standortcharakterisierung ausgewählt. Diese waren Hyrynsalmi, Äänekoski, Kuhmo, Sievi und Eurajoki. Die Auswahl dieser Standorte basierte auf der Untersuchung des Grundgesteins des ganzen Landes. Diese Standorte repräsentieren die verschiedenen Gesteinsarten in Finnland. 1992 wurde ein Bericht über die Standortsuche erstellt und die Forschung wurde an allen anderen Orten außer Sievi und Hyrynsalmi fortgesetzt. Nachdem die Ausfuhr abgebrannter Brennelemente gesetzlich verboten worden war, wurde 1997 die Hästholmen Insel in Loviisa in das Standortcharakterisierungsprogramm aufgenommen.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung wurde 1997–1999 durchgeführt und 1999 als Anlage zum Antrag den Behörden übergeben. Der Bericht zur Umweltverträglichkeitsprüfung enthält nicht nur die konkreten Umweltaspekte wie die Auswirkungen auf die Tierwelt, sondern auch wie sich die Entsorgungsanlage auf die Bevölkerung auswirkt. Eine Mehrheit der Bevölkerung in Loviisa und Olkiluoto in Eurajoki stehen einem Tiefenlager positiv gegenüber, während die Bevölkerung in Kuhmo und Äänekoski der Tiefenlagerung ablehnend gegenüberstanden. Die Gründe für die jeweilige Einstellung der lokalen Bevölkerung werden im Wissen über Kernenergie, Arbeitslosigkeit, der Entwicklung der Region und der allgemeinen Kultur der Region in Verbindung gebracht. In Loviisa und Eurajoki ist die Kernkraft bereits akzeptiert und ein Endlager scheint die Bevölkerung nicht zu beunruhigen. Dagegen wird in Äänekoski und Kuhmo Kernenergie nicht so akzeptiert und in Kuhmo ist eine ähnliche Meinung wie in Nordschweden bezüglich des Tourismus, der durch die Endlagerung gefährdet werden könnte, entstanden. Für Posiva Oy scheint das Endlager jedoch positive Auswirkungen auf die Arbeitslosigkeit in Kuhmo zu haben.

### 8.4.2 Die Rolle von Politikern und der öffentlichen Meinung

---

Die finnische Regierung ist befugt, die Posiva Oy geplante Methode der Entsorgung und den gewählten Standort zu bewerten und zu akzeptieren. Posiva Oy hat während seiner Aktivitäten in den Gemeinden ein Informations- und Kommunikationssystem in Form von Treffen mit der

Öffentlichkeit und kleineren Diskussionsgruppen entwickelt. Die Öffentlichkeitsbeteiligung besteht aus verschiedenen Organisationen wie Nachbarschaftsräten, der Ortsgruppe der politischen Parteien, lokalen Umweltorganisationen und anderen Ansprechpartnern, die von den Gemeinden ausgewählt werden. Die Öffentlichkeit hatte auf diese Weise die Möglichkeit, ein aktiver Teil des Prozesses zu sein.

Das finnische Kernenergiegesetz enthält Vorgaben zur kommunalen Bürgerbeteiligung und Anhörungen. Es gibt eine öffentliche Beteiligung bezüglich der nuklearen Entsorgung und vor allem bezüglich der lokalen Endlagerung. Auf nationaler Ebene ist eine Beteiligung der Öffentlichkeit nicht sehr deutlich. Als 1987 mit der Standortcharakterisierung begonnen wurde, wurden Anstrengungen unternommen das Vertrauen der Öffentlichkeit zu gewinnen. Am Ende bekundeten mehrere Gemeinden ihr Interesse an einer Standortcharakterisierung in ihrem Bereich und die Diskussionen wurden in kleinen Gruppen geführt, die hauptsächlich aus den demokratisch gewählten Vertretern und Vertreterinnen der jeweiligen Gemeinde bestanden.

Neben der allgemeinen Beteiligung der Öffentlichkeit gab es lokale Oppositionsgruppen gegen die geologische Endlagerung, aber auch organisierte Gruppen für die Errichtung des Endlagers.

### **8.4.3 Information und Kommunikation**

---

Posiva Oy und STUK informieren die Öffentlichkeit im Internet sowie durch Broschüren und Anhörungen. Früher hatte Posiva lokale Büros mit bereitgestellten Informationen sowie einen Tag der offenen Tür an den Standorten. Die Politik zur Vertrauensbildung basiert auf der Informationsarbeit.

## **8.5 Schweden**

---

### **8.5.1 Der Standortprozess**

---

Der Standortprozess für ein Tiefenlager für radioaktive Abfälle erfordert in Schweden verschiedene Typen von Studien, einschließlich allgemeiner Standortstudien, Machbarkeitsstudien und Standortuntersuchungen. Diese Studien ermöglichen die für die Bewilligung eines Standorts erforderlichen Unterlagen zu erstellen.

1995 führte SKB eine Studie über die geologischen Bedingungen in Schweden durch, die sich auf die Qualität des Primärgesteins konzentrierten. Ziel war es, geeignete Bereiche für die Tiefenablagerung zu finden, für die Gneis und Granit als günstige Gesteinsarten gelten<sup>41</sup>.

Einige Jahre vor dieser geologischen Studie, im Jahr 1992, lud die SKB die schwedischen Gemeinden ein, sich freiwillig Machbarkeitsstudien zu unterziehen. Diese Machbarkeitsstudien nahmen einige Jahre in Anspruch und umfassten das Sammeln von Informationen über das vorhandene Grundgestein, die Nutzung des Landes, die Auswirkungen auf die Umwelt, Transportmöglichkeiten und Informationen über die jeweilige Gemeinde im Allgemeinen. Es wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudien keine Probebohrungen durchgeführt.

In acht Gemeinden wurden Machbarkeitsstudien abgeschlossen. In zwei Gemeinden in Nordschweden, Malå und Storuman wurden lokale Referenden abgehalten (1995 bzw. 1997). In ihnen gab die lokale Bevölkerung an, dass sie nicht weiter an Untersuchungen interessiert sei. Die Ergebnisse wurden von SKB respektiert und es wurden keine weiteren Arbeiten in diesen Gemeinden durchgeführt<sup>42</sup>.

In sechs weiteren Gemeinden, die alle an der Ostküste Schwedens oder in deren Umgebung liegen, wurden Machbarkeitsstudien durchgeführt, die im Dezember 2000 vorgelegt wurden. Meinungsumfragen ergaben in jeder der Gemeinden eine starke Mehrheit für eine Fortsetzung des Standortprozesses.

Der von SKB im Jahr 2000 vorgelegte Plan zur Fortführung des Standortprogramms sieht vor, ortsspezifische Untersuchungen in den drei Gemeinden Östhammar, Oskarshamn und Tierp. Bei der Auswahl wurden vier Hauptkriterien herangezogen:

- die Langzeitsicherheitsanforderungen müssen erfüllt sein,
- der Fels muss geeignet sein,
- die Voraussetzungen für den Bau der Einrichtungen müssen günstig sein und
- die gewählte Gemeinde muss zustimmen.

## 8.5.2 Die Rolle von Politikern und der öffentlichen Meinung

---

Der Standortprozess umfasst formal keine politischen Institutionen bis in die relativ späten Stadien, obwohl es wichtig ist, Konsultationen mit bestimmten Gemeinden zu führen und ihre Bürger sehr früh im Prozess einzubinden. Die lokalen Behörden haben ein Vetorecht bezüglich

---

<sup>41</sup> FUD 98. pp. 85-91. <https://www.skb.com/publication/15400>

<sup>42</sup> FUD 98. pp. 91-98.

sie betreffende Angelegenheiten, obwohl die Regierung unter bestimmten Umständen dieses Veto übergehen darf, wenn es um die Ansiedlung eines Endlagers für abgebrannte Kernbrennstoffe geht.

Die Politik der SKB besteht jedoch darin, einen Konsens zu suchen und nicht gegen den Willen der betroffenen Gemeinde zu handeln. In den beiden nordschwedischen Gemeinden Malå und Storuman zeigten lokale Referenden, dass eine Mehrheit der Einwohner und Einwohnerinnen gegen ein Tiefenlager in ihrer Region ist und diese Meinung wurde respektiert.

Normalerweise wickelt der Gemeindevorstand den öffentlichen Konsultations- und Kommunikationsprozess ab und bildet damit einen Kanal für die Ansichten der Bevölkerung.

Das Thema Radioaktiver Abfall ist derzeit auf nationaler Ebene kein großes politisches Thema. Kernenergie wurde in den 1970er Jahren heiß diskutiert und führte zum Sturz zweier Regierungen. Gegner nutzten das Abfallproblem, um Forderungen zu formulieren über die Energiewirtschaft. Diese Periode endete mit dem Atomkraft-Referendum 1980.

Volksabstimmungen ermöglichen es der schwedischen Bevölkerung ihre Meinung zu einem Thema aktiv zu äußern.

### 8.5.3 Information und Kommunikation

---

Die wichtigsten Akteure im Rahmen der Informationsvermittlung sind die führenden Politiker und Politikerinnen der Gemeinden. Es obliegt in Schweden der Lokalpolitik Möglichkeiten für die Öffentlichkeit zu schaffen, sich zu informieren, Wissen zu teilen und das betreffende Thema besprechen.

SKB hat erhebliche Summen für Informationen und Dialog ausgegeben und hat zum Beispiel während der Machbarkeitsstudien in den betroffenen Gemeinden Informationszentren eingerichtet. Die Bevölkerung konnte sich an diese Stellen wenden, um sich über radioaktive Abfälle zu informieren und alle damit zusammenhängenden Angelegenheiten zu besprechen. Die lokale Bevölkerung wurde auch eingeladen, an Studienreisen und Exkursionen teilzunehmen, um verschiedene Gesteinsarten zu besichtigen.

## 9 Vergleichende Diskussion der nationalen Endlager

---

Das Hauptziel dieser Studie ist es, Informationen über Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle in anderen Ländern zu sammeln und Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen ihnen zu diskutieren. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass dies kein strenger detaillierter Vergleich ist. Vergleiche sind aufgrund verschiedener nationaler Definitionen von Begriffen,

unterschiedliche Inhalte und Strukturen von Sicherheitsbewertungsberichten und Verfügbarkeit von Daten in diesem Überblick nur bedingt möglich. Auch variieren die Bedingungen an den Lager-Standorten, so dass günstige Bedingungen Vereinfachungen von konstruierten Strukturen ermöglichen und diese sind dadurch möglicherweise nicht direkt mit anderen Standorten vergleichbar.

## 9.1 Lage der Standorte und geologische Bedingungen

---

Die meisten Endlager befinden sich wie die schwedische SFR-Anlage in der Nähe einer derzeitigen Nuklearanlage. Dies ist der Fall für Rokkasho in Japan, LLWR in der Nähe von Drigg in Großbritannien und VLJ in Finnland. El Cabril befindet sich dagegen am Standort einer ehemaligen Uranmine.

Die Auswahl von Endlagern an Orten, an denen Menschen Erfahrungen im Nuklearbereich haben, ist daher typisch. Die Entsorgung des Abfalls in der Nähe bestehender Anlagen bringt zusätzlich logistische Vorteile mit sich. In manchen Fällen, zum Beispiel beim LLWR in der Nähe von Drigg in Großbritannien gab es den Komfort einer bestehenden Eisenbahnstrecke.

Eine Ausnahme bildet der Standort von l'Aube, da er vor Errichtung des Lagers kein Nuklearstandort war. Die Auswahl der Lage der Kernkraftwerke erforderte jedoch ursprünglich die Einbeziehung von Faktoren wie stabile geologische Bedingungen, wirtschaftlich schwache Regionen, geringe Bevölkerungszahl und Nähe zum Kühlwasser. Es handelt sich dabei also um ähnliche Faktoren, die normalerweise für die Standortauswahl für Abfalldepots berücksichtigt werden.

In vielen Fällen existieren an den ausgewählten Stellen natürliche Barrieren mit einer isolierenden Kapazität, wie z. B. Tonformationen. Beispiele dafür sind l'Aube in Frankreich und LLWR in der Nähe von Drigg in Großbritannien, wo sich die Lager unterlegt von natürlichem, wenig durchlässigem Ton befinden. Verlassene Minen, wie in El Cabril, Spanien, bieten günstige natürliche Bedingungen für Endlager.

LLWR, SFR, VLJ, Rokkasho und Bruce befinden sich alle in Küstengebieten, während l'Aube und El Cabril sich im Landesinneren befindet. Die Wasservolumina sind im Allgemeinen größer und die Wasserretentionszeiten sind in Küstengebieten im Vergleich zu Süßwassersystemen kürzer. Das Gebiet um das LLWR ist ein typisches Beispiel dafür. Ein weiterer Aspekt ist, dass Küstengebiete während der zu betrachtenden Zeiträume von Erosion oder Verschiebung der Küstenlinie betroffen sind. Die Gebiete um SFR und VLJ sind davon betroffen. Die Küstenlage spiegelt sich auch in den Sicherheitsbewertungen als Biosphärenrezeptoren wider, da sich die berechneten Radionuklidleckagen aus den am Meer gelegenen Endlagern mit der Änderung der Küstenlinie ändern. Die Berechnungen für SFR veranschaulichen eine solche Entwicklung mit Untermodellen, die auf einem Geografischen Informationssystem, basieren, das die

Entstehung und mögliche Lebensdauer von Seen in dem zurzeit noch vom Meer bedeckten Gebiet vorhersagt.

Nur bei SFR wird das darüber liegende Gestein des Endlagers durch Wasser des Meeres beim Schließen des Endlagers bedeckt. Dies impliziert, dass für SFR ein frühes Eindringen des Menschen in das Endlager sehr unwahrscheinlich ist und alle kurzlebigen Radionuklide ausreichend Zeit haben zu zerfallen, bevor jedes Szenario, das das Anbohren des Endlagers beinhaltet, plausibel ist.

## 9.2 Lager-Design

---

Aus der Liste der bestehenden Endlager geht hervor, dass die meisten Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle überirdisch oder direkt unter der Erde oder in einer ehemaligen Mine angelegt sind. Endlager für schwach und mittelaktive Abfälle in unterirdischen Hohlräumen zu bauen ist ein Ansatz, der in Schweden, Finnland und Ungarn angewendet wird und ihren Ursprung in der gemeinsamen Endlagerung mit hochaktiven Abfällen aus den Kernreaktoren hat.

Die meisten oberflächennahen Lager wie l'Aube, El Cabril und Rokkasho sind mit stets zugänglichen Inspektionstunneln ausgestattet.

## 9.3 Barrieren und technische Strukturen

---

Die Sicherheit eines Endlagers hängt je nach Abfallart von einer Reihe kombinierter Faktoren ab. Die wesentlichsten Punkte sind jedoch:

- Die Abfallgebinde mit dem Abfall.
- Die Lager-Strukturen, in denen die Gebinde abgelegt werden.
- Die Geologie und Hydrogeologie des Standorts, die eine langfristige mehrjährige natürliche Barriere darstellt.

Die in diesem Bericht diskutierten Lager enthalten in ihrem Design Erfahrungen aus Einrichtungen, die bereits früher in Betrieb waren. Es gibt Erfahrungen von mehr als 40 Jahren Betrieb von oberflächennahen Endlagern weltweit. Einige frühe Lager waren fast ohne technische Strukturen aufgebaut. Wie das britische Endlager Drigg zeigt, wurden auch dort im Laufe der Zeit Barrierensysteme entwickelt und angewendet. Wesentliche Treiber hierfür sind z.B. die ständige Weiterentwicklung der internationalen und nationalen Vorschriften, Informationsaustausch in internationalen Foren, Entwicklung und Ergebnisse aus

durchgeführten Sicherheitsbewertungen, Erhöhung der Mittel sowie laufende Forschung und Entwicklung.

Die technischen Barrieren sind zumeist so konstruiert, dass sie die natürlichen Bedingungen an einem Standort, z.B. das hydrogeologische, geologische und hydrologische Bedingungen ergänzen. Die Hauptstrategie für die oberirdischen Lager ist es, sich während der dreihundertjährigen institutionellen Kontrolle auf die Funktionen von technischen Barrieren zu verlassen. Danach werden die Sicherheitseigenschaften der natürlichen Barrieren und der Umwelt als ausreichend bewertet um die radiologische Sicherheit zu gewährleisten.

Betonstrukturen werden sowohl in Lagern, die unter dem Grundwasserspiegel liegen (LLWR in der Nähe von Drigg als auch in Rokkasho) als auch jenen über dem Grundwasserspiegel (El Cabril und l`Aube) oder auch tiefer im Gestein (LVJ, SFR) angewendet.

Diese Betonstrukturen sorgen für mechanische Stabilität und Eindämmung des Abfalls durch Begrenzung der Wasserinfiltration und Bereitstellung von Sorptionskapazität. Verfüllen der Abfallverpackungen mit Materialien wie Zement, Ton, Bentonit, Zeolith, Kies oder Mischungen der Materialien im Inneren der Betonkonstruktionen verbessert sowohl die mechanische Stabilität und auch die Rückhaltewirkung der Barrieren. Die Strukturen sind in einigen Fällen auch ergänzt mit wasserfesten Auskleidungen von z.B. Bitumen, Asphalt und Gummi. Wenn ein Graben oder Gewölbe mit Abfallverpackungen voll ist, wird er verfüllt und mit Beton bedeckt. Zusätzlich erfolgt bei oberflächennahen bzw. oberirdischen Lagern eine Abdeckung mit mehreren Schichten, z.B. eine Entwässerungsschicht, die darauf abzielt, Regenwasser von diesem abzuleiten und ein Eindringen des Wassers zu verhindern.

Die oberirdischen Endlager, z.B. El Cabril und l`Aube, sind für eine institutionelle Kontrolle für einen Zeitraum von 300 Jahren ausgelegt. Das bedeutet, dass die Barrieren eine Eindämmung während dieser Zeit bieten müssen.

Die oberhalb des Grundwasserspiegels gelegenen Endlager weisen hauptsächlich Barrieren zweier Arten auf, von denen eine Art eine ausreichende Isolierung bieten muss während der andere Typ eine hohe Porosität haben muss, damit Niederschlagswasser um die Endlagerstrukturen herum fließt und nicht durch diese durch.

Die unter dem Grundwasserspiegel befindlichen Endlager haben Barrieren, um eine Grundwassermigration durch das Lager zu verhindern.

Der finnische VLJ, ein unterirdischer Hohlraum, verfügt über Barrierensysteme, die denen der Gewölbe sehr ähnlich sind. Es gibt zwei Betonsilos, eines aus Spritzbeton für LLW und eines aus Stahlbeton für MLW. Die Strukturen und unterirdischen Öffnungen werden verfüllt. Es gibt keine Bentonitschicht.

## 9.4 Lager-Größe

---

Die Größe der Lager für LLW spiegelt die Größe der nationalen Nuklearprogramme und auch die jeweilige Klassifizierung der radiologischen Abfälle wider. Einige Länder entsorgen ihre VLLW im Endlager, das für LLW angelegt wurde, während andere, z.B. Schweden, zwischen den beiden Klassen unterscheidet und VLLW in lokalen oberirdischen Deponien in den Kernkraftwerken entsorgt.

In der nachstehenden Zusammenstellung (Tabelle 1) sind die geplanten Kapazitäten des Endlagers für die Länder in dieser Studie aufgeführt. Frankreich hat das umfangreichste KKW-Programm der betrachteten Länder und hat das zweitgrößte Lager. Großbritannien hat das größte Lager, das seit sehr langer Zeit in Betrieb ist und große Mengen relativ „alter“ Abfälle enthält.

Das finnische Endlager VLJ, das für die Entsorgung von Abfällen aus einer Kernkraft gebaut wurde, ist das kleinste.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der geplanten Einlagerungskapazitäten in den einzelnen Endlagern für schwach- und mittelaktive Abfälle

Lager, Land	Geplante Kapazität (m <sup>3</sup> )
L'Aube, Frankreich	1.000.000
El Cabril, Spanien	36.000
Rokkasho, Japan	600.000
LLWR, UK	1.800.000
VLJ Oikiluoto, Finnland	8.000
SFR, Schweden	63.000 (203.000 nach Erweiterung)

## 9.5 Abfall und Verpackung

---

Der in den Endlagern entsorgte Low-Level-Abfall (LLW) hat einen sehr ähnlichen Ursprung. In vielen Ländern wurden besondere Anstrengungen zur Entwicklung von Methoden zur Reduzierung der Abfallmengen z.B. durch Verdichtung unternommen. Feste Abfälle werden in Umverpackungen verpackt, während flüssige Abfälle und Asche in z.B. Zement oder Bitumen konditioniert/verfestigt werden. Zur Begrenzung der akzeptierten Abfallformen und des Aktivitätsinventars sowie dem Auftreten langlebiger Radionuklide haben alle Endlager Kriterien der Abfallannahme für die Entsorgung der Abfälle in der jeweiligen Anlage festgelegt. Diese umfassen:

- Allgemeine Anforderungen
- Radiologische Anforderungen
- Chemische Anforderungen

Die häufigsten Abfallverpackungen sind Stahlfässer, Beton- oder Stahlkästen. In einigen Fällen werden diese Einheiten vor dem Einlagern in das Endlager in größere Beton- oder Stahlbehälter geladen, z.B. in El Cabril oder LLWR in der Nähe von Drigg. Die Verpackung trägt zur Betriebssicherheit bei und ist als eine der Lager-Barrieren in den meisten Systemen anerkannt.

## 9.6 Sicherheitsbewertungen

---

Der Kontext für die Sicherheitsbewertung gibt an, was bewertet wird und warum es bewertet wird. Es ist stark auf die nationalen Vorschriften und Anforderungen der Interessengruppen ausgerichtet.

Sicherheitsbewertungen werden für alle Lager auf ähnliche Weise durchgeführt. Ein Szenario, das alle Annahmen abdeckt, die zu einer bestimmten Entwicklung führen, basieren entweder auf wahrscheinlichen Entwicklungen des Standortes oder gegenwärtigen Bedingungen. Letzteres gilt vor allem für die im Landesinneren befindlichen Lager wie El Cabril, L'Aube und Rokkasho. Normalerweise gibt es ein sogenanntes Referenzszenario, das manchmal als „die wahrscheinlichste Entwicklung des Lagers“ oder „realistischer Fall“ bezeichnet wird.

Diese Szenarien werden modelliert und Radionuklidfreisetzungen an die Biosphäre und die resultierenden Dosen werden berechnet. Darüber hinaus werden weniger wahrscheinliche Szenarien erstellt, berechnet und bewertet. Die internationale FEP-Liste ist eine Liste von Funktionen, Ereignissen und Prozessen, die ein Endlager beeinflussen können. Die Liste wurde in internationaler Zusammenarbeit entwickelt und ist eine gemeinsame Basis, auf die normalerweise in den Sicherheitsbewertungen Bezug genommen wird.

Aufgrund der Arbeit der ICRP besteht ein allgemeiner Konsens über die Dosiskriterien. Diese Kriterien basieren auf dem Risikokzept ( $10^{-6}$  pro Jahr) woraus sich bei üblicher Interpretation eine Dosis von 14  $\mu\text{Sv}$  pro Jahr ergibt.

Alle Sicherheitsbewertungen, die für die dargestellten Endlager durchgeführt wurden, behandeln auch die Sicherheit nach Schließung des Endlagers. Allen Sicherheitsbewertungen gemeinsam ist, dass gezeigt wurde, dass der Transport durch das Grundwasser der Hauptweg ist, damit Radionuklide den Menschen und die Umwelt erreichen. Der Transport von Radionukliden durch Gas war jedoch ausgeprägter für die oberflächenlokalisierten Lager als für die tiefer gelegenen. Für letztere zeigen die Bewertungen, dass die begrenzte Menge an erzeugtem Gas von umgebenden Felsen absorbiert wird.

Die Zeiträume, für die derartige Berechnungen durchgeführt werden, unterscheiden sich zwischen den Lagern. Die Berechnungen für Drigg umfassen einige tausend Jahre. Dies spiegelt auch die Umgebungsbedingungen wider, unter denen sich das LLWR befindet. Die Küste ist stark von Küstenerosion und steigendem Wasserstand betroffen.

Längere Zeiträume implizieren auch Klimaveränderungen. Daher waren die Berechnungen für SFR unter Berücksichtigung des Klimawandels in den kommenden 120.000 Jahren ähnlich denen aus den vorangegangenen 120.000 Jahre durchgeführt. Die früheren Sicherheitsbewertungen für SFR (SAFE) umfassten etwa 10.000 Jahre.

## 9.7 Verschluss

---

Der Verschluss einer Entsorgungsanlage ist der letzte wichtige operative Schritt zur Fertigstellung des Entsorgungssystems. Der Verschluss wird benötigt, um das Design des Entsorgungssystems zu vervollständigen.

Ziel ist, dass Radionuklide und andere schädliche Bestandteile über einen ausreichend langen Zeitraum zu isolieren, so dass die entstehenden Risiken für Menschen und Biota in einem akzeptablen Maß bleiben und ein versehentliches Eindringen in das Endlager wird minimiert.

Wichtige Funktionen des Verschlusses sind die Förderung der Entwässerung und Gasfreisetzung sowie die Minimierung der Infiltration von Wasser und Erosion. Die Schließung ist auch erforderlich, um die Arbeitnehmer zu schützen und institutionelle Leistungen zu erbringen. Ferner wird erwartet, dass das Verschlussystem mit minimaler Wartung und ohne Verlust der Integrität durch Förderung der Entwässerung funktioniert, um Erosion und Infiltration zu minimieren.

Das Schließen der Gewölbe- und Grabentypen von Aufbewahrungsorten umfasst üblicherweise Kappen mit einer Bodenschicht entweder auf einer dicken Tonschicht oder auf mehreren Schichten mit einer Folge von undurchlässigem Ton und durchlässigem Sand.

Die unterirdischen Endlager, z.B. VLJ werden mit Kies verfüllt und die Zugänge werden verfüllt und verstopft.

## 9.8 Kostenvergleich

Für die nachfolgend dargestellten grundlegenden Kostenkomponenten (Tabelle 2) werden die für jedes Endlager angegebenen Zahlen in nicht abgezinnten Geldwerten angegeben, d.h. die Kosten werden als sofort anfallend angenommen, ohne einen Zeitplan zu berücksichtigen. Grund für die Verwendung nicht abgezinster Kosten ist, dass zwischen den Lagern erhebliche Unterschiede in den Zeiträumen bestehen, in denen die Kosten anfallen. In solchen Fällen werden die Interpretation und der Vergleich der abgezinnten Gesamtkosten äußerst schwierig, wenn nicht gar unmöglich.

Tabelle 2: Kostenvergleich der betrachteten Lager, kompiliert nach NEA<sup>43</sup>

Ort	Planung, Bau, Lizenzierung (M€)	Planung (M€)	Lizenzierung (M€)	Konstruktionskosten pro m <sup>3</sup> Abfall (€)	Jährliche Kosten (M€)	Jährliche Kosten pro m <sup>3</sup> Abfall (€)	Institutionelle Kontrolle (M€)
EL Cabril	126,6	14,2	7,8	1046,4	7,5	1500	0,82/a
L'Aube	391,6	23,7	2,9	365	36,1	1803	k.A.
Drigg	193,9	NA	NA	242,4	11	917	0,15/a
Olkiluoto (LLW)	35,6	9,4	0,9	2999,3	0,4	1607	k.A.
SFR (LLW)	174,6	8,5	2,6	2595,2	3,4	1376	k.A.

<sup>43</sup> NEA, LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE REPOSITORIES - An Analysis of Costs, Nuclear Energy Agency, OECD, 1999

## Ausblick

---

Dieser Bericht behandelt die technologischen und technischen Gegebenheiten verschiedener bestehender internationaler Endlager-Typen, deren radiologisches Abfallinventar mit dem für Österreich zu erwartenden Inventar an radioaktiven Abfällen im Hinblick auf die Zusammensetzung an Radionukliden und der Radioaktivität annähernd vergleichbar sind. Weiters versucht der Bericht die unterschiedlichen Herangehensweisen der Sicherheitsbewertungen bzw. der verwendeten Methoden zur Szenarienentwicklung (Top-Down, Bottom-up) für die hier beschriebenen Lager aus den verfügbaren Sicherheitsbewertungen herausgearbeitet.

Neben den rein technologischen und sicherheitstechnischen Aspekten werden in weiteren Schritten die Art der Öffentlichkeitsarbeit bzw. der Einbindung der Öffentlichkeit in den Prozess der Findung und Erbauung der Lager sowie die Kosten bzw. die Veränderungen der Kosten während des Prozesses behandelt, sodass sich letztlich ein erstes Übersichtsbild an best practice, lessons learnt aber auch worst cases bei der Suche und Errichtung von Endlagern ergibt. Es ist jedoch empfehlenswert in weiterer Folge von der beispielhaften Vorgehensweise abzugehen und die möglichen Endlagerkonzepte, inklusive der in diesem Bericht nicht vorkommenden Bohrlochtechnologien und eventueller Mischlösungen anhand von noch zu erstellenden Kriterien für ein österreichisches Endlager zu diskutieren.

## Anhang A – Liste der bestehenden Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Stand 2020)

Die wichtigsten Referenzen, die für die Zusammenstellung dieses Anhangs verwendet wurden, sind Quellen aus den NEA- und IAEO-Web Seiten. Auch die Websites verschiedener nationaler Abfallentsorgungsorganisationen wurden zur Information durchgesehen.

<http://www.oecd-nea.org/general/profiles/>

<http://www.oecd-nea.org/rwm/profiles/>

<http://newmdb.iaea.org/reports.aspx>

Tabelle A1: Zusammenstellung von weltweiten Endlagern für schwach- und mittelaktiven radioaktiven Abfall

Land	Lager Name	Typ	Zeitraum	Abfallarten
Argentinien	Ezeiza	Graben	1974–	Energieproduktion, Allgemein
Australien	Mt.Walton	Graben	1992–	Allgemein
Brasilien	Abadiade Goias	Gewölbe		Allgemein
China	Lanzhou	Graben	1998	Energieproduktion, Allgemein
China	Kakrapar	Gewölbe	1993–	Energieproduktion
China	Narora	Gewölbe		Energieproduktion
China	Souty China (Guandong)	Gewölbe		Energieproduktion
China	Tarapur	Graben	1972	
Deutschland	Asse	Unter Tage	1965–1978/1992	Allgemein
Deutschland	Konrad	Unter Tage (alte Mine)		Energieproduktion, Allgemein
Deutschland	Morsleben	Unter Tage (alte Mine)	1978–2000	Energieproduktion, Allgemein

Estland	Tammiku	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1963–	Allgemein
Finnland	Loviisa	Unter Tage	1998–	Energieproduktion
Finnland	Olkiluoto	Unter Tage	1992–	Energieproduktion
Großbritannien	Dounreay	Graben	1959–1977 being upgraded	
Großbritannien	LLWR (Drigg)	Gewölbe u. Graben	1959–	Energieproduktion, Allgemein
Indien	Tarapur	Graben	1972–	
Indien	Trombay	Graben	1960–	Allgemein
Japan	Rokkasho	Graben	1992–	Energieproduktion
Japan	Tokai	Graben	In operation	Energieproduktion
Kanada	ChalkRiver	Graben	1946–	Allgemein
Lettland	Baldone	Gewölbe	1962–	Allgemein
Litauen	Maishiagala	Graben	1964–1989	Allgemein
Mexiko	El Cader	Graben	1970–1989 in operation	Energieproduktion
Moldawien	Chisinau	Graben	In operation	Allgemein
Norwegen	Himdalen	Felshöhle	1991	Allgemein, Forschung
Pakistan	Pinstech	Graben		Allgemein
Polen	Rozan	Gewölbe		Allgemein
Rumänien	Baita-Bihor	Alte Mine	1985–gestoppt	Allgemein
Russland	Leningrad	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1962–	Energieproduktion, Allgemein
Russland	Moskau	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1961–	Energieproduktion, Allgemein

Russland	Bashkir	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–	Allgemein
Russland	Chelyabinsk	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1963–	Allgemein
Russland	Grozny	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–gestoppt	Allgemein
Russland	Irkutsk	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–	Allgemein
Russland	Kazan	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–	Allgemein
Russland	Khabarovsk	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–	Allgemein
Russland	Leningrad	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1962–	Energieproduktion, Allgemein
Russland	Murmansk	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–1993	Allgemein
Russland	NizhnyNovgorod	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–	Allgemein
Russland	Novosibirsk	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1968–	Allgemein
Russland	Rostov	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–	Allgemein
Russland	Samara	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–	Allgemein

Russland	Saratov	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–	Allgemein
Russland	Sverdlovsk	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–	Allgemein
Russland	Volgograd	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1964–	Allgemein
Schweden	SFR	Unter Tage	1988–	Energieproduktion Institutional
Slowakei	Mochovce	Gewölbe	1999–	Energieproduktion
Spanien	El Cabril	Gewölbe		Energieproduktion, Allgemein
Südafrika	Vaalputs	Graben	1986	Energieproduktion
Taiwan	Lanyu	Graben	1982–1996	Energieproduktion
Tschechische Republik	Richard	Unter Tage (alte Mine)	1964	Allgemein
Tschechische Republik	Btatrstvi	Unter Tage (alte Mine)	1974–	
Tschechische Republik	Hostim	Unter Tage (alte Mine)	1959–	Allgemein
Ukraine	Kyiv	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1961–	Allgemein
Ukraine	Dnipropetrovsk	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1961–	Allgemein
Ukraine	Donetsk	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1962–	Allgemein
Ukraine	Kharkiv	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1962–	Allgemein

Ukraine	L'viv	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1962–	Allgemein
Ukraine	Odesa	Einfaches Gewölbe ohne technische Barrieren	1961–	Allgemein
Ungarn	Puspokszilagy	Gewölbe	1976–	Allgemein
Ungarn	Batapati	Unter Tage	2008 (planned)	
USA	Barnwell	Graben	1971–	Energieproduktion, Allgemein
USA	Beatty	Graben	1962–1992	Energieproduktion, Allgemein
USA	Fernland	Gewölbe	1997–2006	
USA	Hanford	Graben	1992–	
USA	HanfordERDF	Graben	1996–	Energieproduktion, Allgemein
USA	IdahoICDF	Graben	2003–	Allgemein
USA	IdahoRWMC	Hallen und Gewölbe	1984–	Allgemein
USA	LosAlamos	Graben	1957–	
USA	MaxeyFlats	Graben	1963–1977	Energieproduktion, Allgemein
USA	Nevada	Graben		
USA	OakRidge	Gewölbe		
USA	Savannah	Graben	1978–	
USA	Sheffield	Graben	1966–1978	
USA	West Valley	Graben	1963–1986	Allgemein
Vietnam	Dalat	Gewölbe	1984–	Allgemein

# Glossar

---

<b>Aktivität (Radioaktivität)</b>	Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Kernumwandlungen eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i. Allg. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben.
<b>Becquerel (Bq)</b>	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
<b>Effektive Dosis</b>	Summe der gewichteten mittleren Organdosen in den einzelnen Organen und Geweben des Körpers. Der Wichtungsfaktor für ein Organ oder Gewebe ist das Verhältnis des Risikos stochastischer Wirkungen, das sich aus der Bestrahlung dieses Organs oder Gewebes ergibt, zum Gesamtrisiko stochastischer Wirkungen bei gleichförmiger Bestrahlung des gesamten Körpers. Reine Rechengröße für den Grenzwertvergleich im Bereich stochastischer Strahlenwirkungen.
<b>Endlager</b>	Einrichtung zur Lagerung nicht weiter verwertbarer radioaktiver Abfälle, deren spätere Entfernung aus dem Lager nicht vorgesehen ist.
<b>Gammastrahlung</b>	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann.
<b>Halbwertszeit</b>	Zeitspanne, nach der die Anzahl der radioaktiven Atome eines Elementes auf die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome gesunken ist. Nach einer Halbwertszeit hat sich entsprechend auch die Aktivität des Radionuklides halbiert.
<b>Ionisierende Strahlung</b>	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung), welche die Bildung von Ionen bewirken können.
<b>Isotop</b>	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl, zB.: Ordnungszahl 1:

Wasserstoff H-1, Deuterium H-2 (auch D), Tritium H-3 (auch T).

**Kontamination**

Speziell: Verunreinigung von Gegenständen, Räumen, Wasser, Lebensmitteln oder Menschen mit radioaktiven Stoffen.

**Nuklid**

Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart.

**Radioaktive Abfälle**

Radioaktive Materialien, für die eine Weiterverwendung nicht vorgesehen ist und die als radioaktiver Abfall der behördlichen Kontrolle unterliegen.

**Radioaktive Materialien**

Materialien, die radioaktive Stoffe enthalten.

**Radioaktive Stoffe**

Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden.

**Radioaktivität**

Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden.

**Radionuklide**

Instabile Nuklide, die unter Aussendung von ionisierender Strahlung in andere Nuklide zerfallen.

**Radiotoxizität**

Radiotoxizität beschreibt die gesundheitsschädliche Wirkung inkorporierter (in den menschlichen Körper aufgenommener) Stoffe auf Grund ihrer Radioaktivität, im Gegensatz etwa zur chemischen Wirkung (chemische Toxizität). Für die Radiotoxizität eines Stoffes ist von Bedeutung, in welchem Maße die ionisierende Strahlung körperliche Schäden bewirkt. Dies hängt ab von der Strahlenart und -energie, dem Inkorporationsweg (Weg, auf dem der Stoff in den Körper gelangt - über die Nahrung, die Atemluft, durch die intakte Haut, durch offene Wunden oder durch Injektion), der Organkonzentration, der Halbwertszeit des Radionuklids und der Verweildauer des Stoffes im Körper beziehungsweise in den Organen. In Österreich wurde die Radiotoxizität durch den Risikoindex ausgedrückt.

**Referenzperson**

Eine idealisierte Person, für die Organdosen errechnet werden, indem die entsprechenden Dosen des männlichen und weiblichen Referenzmenschen gemittelt

werden. Die Organdosen der Referenzperson werden mit den Gewebewichtungsfaktoren multipliziert, um effektive Dosen zu berechnen. Für Referenzpersonen werden Verhaltensparameter definiert.

**Risiko**

Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung. Dimensionslose Zahl.

**Risikoanalyse**

Systematische Nutzung verfügbarer Informationen zur Identifizierung von Gefahren und zur Abschätzung des Risikos für Personen, Sachen und die Umwelt (IEC 60300-3-9). Die Risikoanalyse beinhaltet die Identifizierung von unerwünschten (unfallbedingten) Ereignissen sowie der Ursachen und Folgen dieser Ereignisse (NS 5814).

**Risiko Assessment**

Gesamtprozess der Risikoanalyse und Risikobewertung

**Risikobewertung**

Prozess, bei dem auf der Grundlage einer Risikoanalyse und unter Berücksichtigung von Faktoren wie sozioökonomischen und Umweltaspekten eine Beurteilung eines tolerierbaren Risikos vorgenommen wird. (IEC 60300-3-9)

**Risikoindex**

Der Risikoindex wird durch den Quotienten aus Aktivität eines Radionuklids und dem zugehörigen höchstzulässigen Konzentrationswert in Luft oder Wasser definiert. Einzelne Risikoindizes können zum Gesamtindex addiert werden.

**Safety Case**

Der Safety Case oder Sicherheitsnachweis ist die Zusammenstellung wissenschaftlicher, technischer, administrativer und verwaltungstechnischer Argumente und Nachweise für die Sicherheit einer Anlage. Er umfasst die Eignung des Standorts, die Auslegung, den Bau und den Betrieb der Anlage, sowie die Bewertung der Risiken und die Gewährleistung der Angemessenheit und Qualität aller sicherheitsrelevanten Arbeiten im Zusammenhang mit der Anlage. Risiko Assessment und Sicherheitsanalyse sind ein wesentlicher Bestandteil des Sicherheitsnachweises, aber nicht der einzige.

**Szenariounsicherheit**

Auswirkung von fehlendem Wissen oder unvollständiger Information bzgl. einer adäquaten Beschreibung von Expositionsszenarien, wie sie z. B. aus dem Unwissen über zukünftige natürliche oder anthropogene Einwirkungen auf Schadstoffquellen und Migrationswege, über die Lebensbedingungen von aktuell oder potentiell exponierten Personen oder durch unvollständige Analyse möglicher Expositionspfade resultieren können.

**Unsicherheit**

Auswirkung von fehlendem Wissen oder unvollständiger Information bzgl. Spezieller Aspekte, Faktoren oder Parameter der Beschreibung des aktuellen bzw. der Prognose eines zukünftigen Zustandes eines untersuchten Systems. Die Unsicherheit resultiert aus subjektiven Merkmalen der Systemanalyse und kann grundsätzlich durch zusätzliche Untersuchungen reduziert werden. Bei Expositionsabschätzungen kann zwischen Szenariounsicherheiten, Modellunsicherheiten und Parameterunsicherheiten unterschieden werden. Wird auch als epistemische Unsicherheit bezeichnet.

**Zwischenlager**

Einrichtung zur Lagerung von radioaktiven Abfällen, die einer späteren Behandlung zugeführt werden sollen

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1: Gegenüberstellung der geplanten Einlagerungskapazitäten in den einzelnen Endlagern für schwach- und mittelaktive Abfälle .....	78
Tabelle 2: Kostenvergleich der betrachteten Lager, kompiliert nach NEA .....	81
<u>Tabelle A1: Zusammenstellung von weltweiten Endlagern für schwach- und mittelaktiven radioaktiven Abfall.....</u>	<u>84</u>

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1: Die Beziehungen der Annahmekriterien zu allen Aktivitäten für eine sichere Abfallentsorgung .....	17
Abbildung 2: Skizzen von drei Arten von Endlagern und ihren Strukturen a) unterirdisches Hohlraum-Endlager, b) einfacher Lagertyp unterirdisch c) Cavernentyp des oberirdischen Lagers. Quelle: Machbarkeitsuntersuchung Endbericht: die Endlagerung der in Österreich anfallenden Abfälle in einem oberflächennahen Lager mit Langzeitcharakter; Quelle: colenco Power Engineering AG und Zivilingenieurbüro Dr. Lutz.....	20
Abbildung 3: Darstellung des Prozesses der Sicherheitsbewertung.....	22
Abbildung 4: Einzelne Lagercaverne in El Cabril mit der Containerüberdeckung während der Einlagerungsphase. Quelle: publico.es.....	36

# Literatur

---

1996 Protocol to the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972

<https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/Pages/London-Convention-Protocol.aspx>

Code de la Santé Publique;

<https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006072665/>

Code de l'environnement;

<https://codes.droit.org/PDF/Code%20de%20l%27environnement.pdf>

*Code du Travail*; <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006072050/>

colenco Power Engineering AG und Zivilingenieurbüro Dr. Lutz; Die Lagerung der in Österreich anfallenden radioaktiven Abfälle in einem oberflächennahen Lager mit Langzeitcharakter; 4397/2; Wien, 2001.

Department of the Environment, Transport and the Regions, The Government's Response to the House of Lords Select Committee on Science and Technology Report on the Management of Nuclear Waste, 25 October 1999.

Energy Act 2004, <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2004/20/contents>

FUD 98, pp. 147–150 and *Djupförvar för använt kärnbränsle. SR 97 — Säkerheten efter förslutning*. Huvudrapport. Sammanfattning. November 1999.

<https://www.skb.com/publication/15400>

HM Government, Review of Radioactive Waste Management Policy, Command 2919, HMSO London, 1995

House of Lords Select Committee on Science and Technology, *Management of Nuclear Waste – 3rd Report: Session 1998–99*, London: The Stationery Office.

[https://www.enresa.es/documentos/6PGRR\\_Espa\\_ol\\_Libro\\_versi\\_n\\_indexada.pdf](https://www.enresa.es/documentos/6PGRR_Espa_ol_Libro_versi_n_indexada.pdf)

IAEA Safety Series No. 111-F, The principles of radioactive waste management. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1995

IAEA SAFETY SERIES No. 111-G-3.1 Siting of near surface disposal facilities. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 1994

IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. SF-1 Fundamental safety principles : safety fundamentals. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2006.

IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. GSG-3 The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2013.

IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. GS-G-3.3 The Management System for the Processing, Handling and Storage of Radioactive Waste, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2008.

IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. GS-G-3.4 The Management System for the Disposal of Radioactive Waste, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2008.

IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. SSG-14 Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, GEOLOGICAL DISPOSAL FACILITIES FOR RADIOACTIVE WASTE SPECIFIC SAFETY GUIDE, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2011.

IAEA Safety Standards Series No. SSG-23, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste. Specific Safety Guide (SSG 23), International Atomic Energy Agency (IAEA), ISBN 978-92-0-128310-8: Vienna, 2012.

IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. SSR-5 Disposal of Radioactive Waste Specific Safety Requirements, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2011.

IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. WS-G-1.1 WS-G-1.1 Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1999.

IAEA, Classification of radioactive waste: general safety guide. IAEA Safety Standard Series No GSG-1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2009.

Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear

Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear

*Loi n° 2006-739, du 28 juin 2006, de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs*

*Loi n° 2016-1015, du 25 juillet 2016, précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue.*

*Loi n° 91-1381, du 30 décembre 1991, relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs.*

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, Borrador de 7º Plan General de Residuos Radiactivos, 2020, p. 29

NEA, LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE REPOSITORIES - An Analysis of Costs, Nuclear Energy Agency, OECD, 1999

Nirex, *Annual Report and Accounts*, United Kingdom Nirex Limited, 2000

Nirex, Deep Repository Project – Preliminary Environmental and Radiological Assessment and Preliminary Safety Report, Nirex Report 71, 1989.

Plan Energético Nacional 1983, Boletín Oficial de las Cortes Generales, 42, 14th May 1983, p.435.

Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos .

REAL DECRETO 1522/1984 de 4 de julio, por el que se autoriza la constitution de la "Empresa Nacional de Residuos Radioactivos S. A." – ENRESA;  
<https://www.boe.es/boe/dias/1984/08/22/pdfs/A24186-24187.pdf>

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, El sistema eléctrico español. Previsión de cierre 2019, [https://www.ree.es/sites/default/files/11\\_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElctrico/2019/Red-Elctrica-Infografia-Sector-ElctricoEspa%C3%B1ol-2019.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElctrico/2019/Red-Elctrica-Infografia-Sector-ElctricoEspa%C3%B1ol-2019.pdf).

Richtlinie 2011/70/Euratom des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle; Amtsblatt der Europäischen Union, L 199/48, 2.8.2011.

TRIBUNAL SUPERIOR DE JUSTICIA DE CASTILLA-LA MANCHA (Sala de lo Contencioso-administrativo, Sección 1ª), judgement 209/2018, of 30th July (Rec. 412/2015); "Perseguir una finalidad subrepticia de obstrucción del ejercicio de la competencia estatal, amparándose en la apariencia de la necesidad de ampliación y conservación de espacios naturales, por muy loable que pueda resultar tal propósito" .

UK CEED, *Report of UK CEED Consensus Conference on Radioactive Waste*, May 1999, UK CEED. Peterborough (UK), 1999.



**GESUNDHEIT FÜR MENSCH, TIER & PFLANZE**

[www.ages.at](http://www.ages.at)