

Wissenschaftliche Beratung und Bewertung grenzüberschreitender Aspekte des französischen Endlagervorhabens "Cigéo" in den Nachbarländern Rheinland-Pfalz, Saarland und Großherzogtum Luxemburg

Darmstadt,
23.09.2013

Autoren

Christian Küppers
Öko-Institut e.V.

Stefan Alt
Öko-Institut e.V.

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

info@oeko.de
www.oeko.de

Auftraggeber:

Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landes-
planung Rheinland-Pfalz
Stiftsstraße 9
55116 Mainz

Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz des Saarlandes
Keplerstraße 18
66117 Saarbrücken

Ministerium für Gesundheit Luxemburg
Villa Louvigny, Allée Marconi,
L-2120 Luxembourg

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung	5
2.	Abgleich mit internationalen Regelwerken	7
2.1.	RICHTLINIE 2011/70/EURATOM DES RATES vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle	8
2.2.	IAEA Specific Safety Guides	9
2.2.1.	IAEA Specific Safety Guide SSG-14: Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste (2011)	10
2.2.2.	IAEA Specific Safety Guide SSG-23: The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste (2012)	14
2.3.	Veröffentlichungen der OECD/NEA	18
2.3.1.	OECD/NEA: Reversibility of Decisions and Retrievability of Radioactive Waste (2012)	18
2.3.2.	OECD/NEA: Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste (2012)	20
3.	Strahlenexposition der Bevölkerung der Auftraggeberländer durch die Abgabe von Radionukliden mit der Fortluft des Endlagers im Normalbetrieb	23
3.1.	Freisetzungen radioaktiver Stoffe im Normalbetrieb des Endlagers	23
3.2.	Mögliche Strahlenexposition in den Auftraggeberländern	23
4.	Risiken für die Bevölkerung der Auftraggeberländer durch Transporte	26
4.1.	Transporte und Transportrouten zum Endlager CIGÉO	26
4.2.	Abschätzung von transportbedingten radiologischen Risiken in den Auftraggeberländern	26
5.	Risiken für die Bevölkerung der Auftraggeberländer durch Störfälle	34
6.	Betroffenheit des Grundwasserpfads in den Auftraggeberländern (Langzeitsicherheit)	37
6.1.	Allgemeine geologische und hydrogeologische Situation im Hinblick auf grenzüberschreitende Transportpfade	37
6.1.1.	Geologie und Hydrogeologie	37
6.1.2.	Tektonik	38
6.1.3.	Oberflächengewässer	38
6.1.4.	Erosion und zukünftige Standortentwicklung	39
6.2.	Andra's bisherige Betrachtungen zur Langzeitsicherheit	39
7.	Zusammenfassende Bewertung und offene Fragen	41

7.1.	Internationale Regelwerke	41
7.2.	Risiken im Normalbetrieb, Störfall oder beim Abfalltransport	41
7.3.	Langzeitsicherheitsaspekte	42
	Literaturverzeichnis	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1:	Verhältnis der Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft der Auftraggeberländer gegenüber der näheren Umgebung der Anlage CIGÉO	25
Tabelle 4.1:	Abgeschätzte transportunfallbedingte effektive Dosis in den Auftraggeberländern (in mSv effektive Dosis im ersten Jahr) im Szenario „trocken“	28
Tabelle 4.2:	Abgeschätzte transportunfallbedingte Lebensmittelkontamination in den Auftraggeberländern (in Bq/kg Feuchtmasse, erste Ernte) im Szenario „trocken“	29
Tabelle 4.3:	Abgeschätzte transportunfallbedingte effektive Dosis in den Auftraggeberländern (in mSv effektive Dosis im ersten Jahr) im Szenario „Regen“	30
Tabelle 4.4:	Abgeschätzte transportunfallbedingte Lebensmittelkontamination in den Auftraggeberländern (in Bq/kg Feuchtmasse, erste Ernte) im Szenario „Regen“	31
Tabelle 4.5:	Abgeschätzte transportunfallbedingte effektive Dosis in den Auftraggeberländern (in mSv effektive Dosis im ersten Jahr) im Szenario „Regen nur am Aufpunkt“	32
Tabelle 4.6:	Abgeschätzte transportunfallbedingte Lebensmittelkontamination in den Auftraggeberländern (in Bq/kg Feuchtmasse, erste Ernte) im Szenario „Regen nur am Aufpunkt“	33
Tabelle 5.1:	Abgeschätzte effektive Dosis in den Auftraggeberländern (in mSv effektive Dosis im ersten Jahr) bei Störfällen am Endlager	34
Tabelle 5.2:	Abgeschätzte Lebensmittelkontaminationen in den Auftraggeberländern (in Bq/kg, Feuchtmasse) bei Störfällen am Endlager	35

1. Veranlassung

Im Jahr 2012 haben die französische Regierung und die als Vorhabenträger eingesetzte "Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs" (Andra) bekannt gegeben, dass in einer noch im Detail zu erkundenden Zone¹ nördlich des bestehenden Untertagelabors Bure im Departement Meuse ein tiefes geologisches Endlager für radioaktive Abfälle entstehen soll. Das in der Region vorhandene Wirtsgestein sind jurassische Tonsteine des Callovo-Oxfordien². Das Endlager soll dazu dienen, diejenigen in Frankreich entstehenden radioaktiven Abfälle aufzunehmen, für die aus Sicherheits- oder Strahlenschutzgründen eine andere Endlageroption nicht in Frage kommt. Es handelt sich dabei i. W. um hochradioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente sowie um langlebige mittelradioaktive Abfälle. Auszulegen ist das Endlager auf ein Volumen von 10.000 m³ hochradioaktiven Abfall und 70.000 m³ langlebigen mittelradioaktiven Abfall. Die Abfälle sind so einzulagern, dass die Entscheidung hierüber über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren rückgängig gemacht werden kann. Langfristig ist der Verschluss des Endlagers vorgesehen, die Langzeitsicherheit soll passiv, d.h. allein durch die Eigenschaften der geologischen und technischen Barrieren und ohne die Notwendigkeit eines aktiven Eingreifens gewährleistet werden. Nicht vorgesehen, aber als Szenario in den französischen Überlegungen berücksichtigt, ist eine direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente.

Der Träger des Vorhabens, Andra, ist der Auffassung, dass sich die im Untertagelabor Bure erzielten Erkenntnisse über die potenzielle Endlagerformation des Callovo-Oxfordien grundsätzlich auf ein als „Zone de transposition“ bezeichnetes, etwa 250 km² großes Gebiet übertragen lassen. Innerhalb dieses Gebietes hat Andra anhand zusätzlicher Kriterien eine etwa 30 km² große "Zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie" (ZIRA) in der Nachbarschaft des Untertagelabors Bure ausgewiesen, in der nach vorheriger Erkundung das Endlagervorhaben realisiert werden soll.

Das Vorhaben trägt die Bezeichnung "CIGÉO - centre industriel de stockage géologique des déchets radioactifs".

Der Beginn des Genehmigungsverfahrens mit der formalen Antragstellung ist nach derzeitigen Angaben für das Jahr 2015 vorgesehen. Das Vorhaben wird durch eine formalisierte Stakeholderbeteiligung begleitet. In einem ersten Schritt wird in 2013 ein Anhörungsverfahren ("débat public") durchgeführt, in dem der interessierten Öffentlichkeit Gelegenheit gegeben wird, Informationen aus hierfür veröffentlichten Dokumenten zu erhalten und zu dem Vorhaben Stellung zu beziehen.

Die deutschen Bundesländer Rheinland-Pfalz und Saarland sowie das Großherzogtum Luxemburg, in deren Nachbarschaft das Endlagervorhaben liegt, haben sich zusammengetan, um sich gemeinsam über das Vorhaben zu informieren und sich bezüglich grenzüberschreitender Aspekte eine Meinung zu bilden. Der Standort des geplanten Endlagers befindet sich in etwa 110 km Luftlinie zur Landesgrenze nach Luxemburg, etwa 120 km zur Grenze des Saarlands und etwa 160 km zur Grenze von Rheinland-Pfalz.

In diesem Zusammenhang wird eine unabhängige wissenschaftliche Beratung und Bewertung der für die Bevölkerung der Auftraggeberländer relevanten Aspekte gewünscht. Das Öko-Institut hatte diesbezüglich den Auftrag, ausgewählte, potenziell grenzüberschreitende Effekte des Endlager-

¹ ZIRA: Zone d' intérêt pour la reconnaissance approfondie

² Im Dokument wird einheitlich die französische Schreibweise beibehalten

vorhabens anhand der von Andra vorgelegten Unterlagen und ggf. weiterer Informationsquellen einer Bewertung zu unterziehen. Für die Auftraggeber waren dabei folgende Fragestellungen von Interesse:

- Abgleich mit internationalen Regelwerken
- Strahlenbelastung für die Bevölkerung der Auftraggeberländer durch die Abgabe von Radioaktivität mit der Fortluft des Endlagers im Normalbetrieb
- Risiken für die Bevölkerung der Auftraggeberländer durch Transporte
- Risiken für die Bevölkerung der Auftraggeberländer durch Störfälle
- Betroffenheit des Grundwasserpfads in den Auftraggeberländern (Langzeitsicherheit)

In den folgenden Kapiteln 2 bis 6 wird diesen Fragestellungen im Einzelnen nachgegangen. In Kapitel 7 erfolgt eine zusammenfassende Bewertung sowie die Identifizierung offener Fragen, die aus Sicht des Öko-Instituts im Interesse der Auftraggeberländer im weiteren Verfahren einer besonderen Aufmerksamkeit bedürfen.

Es ist nicht Aufgabe des vorliegenden Gutachtens, die Machbarkeit oder die Systemsicherheit des französischen Endlagervorhabens insgesamt zu beurteilen. Auch das Verfahren zur Herleitung der Standortentscheidung war nicht Gegenstand der Prüfung. Es ist ebenfalls nicht Aufgabe dieses Gutachtens, eine Abwägung lokaler Schutzgüter oder Interessenskonflikte durchzuführen, die sich unzweifelhaft aus dem Endlagervorhaben ergeben und für das direkte Umfeld des Endlagerstandort eine wesentliche Rolle spielen. Die Gefährdung der Nutzung oberflächennahen Grundwassers und die Verhinderung der Nutzung des geothermischen Potenzials der Region werden diesbezüglich als Zielkonflikte genannt.

In den kommenden Jahren sind vom Antragsteller ANDRA umfangreiche Untersuchungen des vorgesehenen unmittelbaren Endlagerstandorts CIGÉO durchzuführen oder, soweit nicht ausreichend, von dritter Seite einzufordern. Das Öko-Institut erwartet, dass dieser Prozess von Andra mit maximaler Transparenz durchgeführt wird, dass Korrekturmöglichkeiten und Haltepunkte eingeführt werden und dass die schlussendliche Entscheidung über eine Eignung oder Nichteignung des Standorts erst anhand der direkt am Standort erhobenen Daten durch Abgleich mit nachvollziehbaren, frühzeitig formulierten Kriterien getroffen wird.

2. Abgleich mit internationalen Regelwerken

Das Kapitel beleuchtet die Frage, in welchem Verhältnis das Projekt CIGÉO zu einschlägigen internationalen Regelwerken steht. Ausgangspunkt hierfür ist ein Überblick über die für die Endlagerung radioaktiver Abfälle im Allgemeinen und der tiefen geologischen Endlagerung im Besonderen bestehenden internationalen Regelwerke und Empfehlungen. Herangezogen wurden hierzu exemplarisch folgende aktuelle Publikationen:

- RICHTLINIE 2011/70/EURATOM DES RATES vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle
- IAEA Specific Safety Guide SSG-14: Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste (2011)
- IAEA Specific Safety Guide SSG-23: The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste (2012)
- OECD/NEA: Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste (2012)
- OECD/NEA: Reversibility of Decisions and Retrieval of Radioactive Waste (2012)

Nachfolgend werden die wesentlichen Inhalte und der Verbindlichkeitsstatus der genannten Regelwerke und Empfehlungen kurz beschrieben. Im Fokus stehen dabei prozedurale und fachliche Vorgaben zu möglicherweise für die grenzüberschreitende Betrachtung relevanten Aspekten. Andra selbst geht in ihren bis dato veröffentlichten Dokumenten nicht direkt auf die Frage nach der Konformität mit einzelnen internationalen Regelwerken ein, setzt dieser aber allgemein als selbstverständlich voraus.

Es ist anzumerken, dass internationale Regelwerke und Empfehlungen in aller Regel nicht die fachliche Tiefe abbilden, die im Detail zur Beurteilung eines konkreten Endlagerprojekts von den jeweils Verantwortlichen zu berücksichtigen ist. Dazu ist das Spektrum der weltweit in unterschiedlichen nationalen Systemen akzeptierten Strukturen, Verfahren und Vorgehensweisen zu breit. Sie geben vielmehr grundlegende und in ihrem Geltungsbereich allgemein anerkannte Prinzipien (wie den Schutz von Mensch und Umwelt vor schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung, ein schrittweise Vorgehen und die regelmäßige Überprüfung des Sachstands) sowie einen strukturellen Rahmen vor, innerhalb dessen ein Staat sowohl für die Beurteilung der eigenen Situation (inklusive der Risikowahrnehmung und ihrer Abwägung gegenüber erhofftem Nutzen und Ziel- oder Interessenskonflikten) und für die Umsetzung im eigenen Land ein gehöriges Maß an Souveränität und Flexibilität vorfindet.

Vor diesem Hintergrund muss auch die Einschätzung der Konformität mit internationalen Standards gesehen werden. Sie stellt im positiven Fall sicher, dass ein Endlagervorhaben einem internationalen fachlichen Konsens der jeweils herausgebenden Institution (EU, IAEA, OECD) entspricht. Ein Rückschritt bei der Sicherheit hinter die internationalen Standards ist ausgeschlossen. Hiermit ist allerdings nicht ausgesagt, dass darüber hinaus nicht weitere Sicherheitsmerkmale im konkreten Fall erforderlich sind oder im nationalen Kontext für erforderlich gehalten werden, die nur im Rahmen der Endlagerplanung und des Genehmigungsverfahrens festgelegt und geprüft werden können.

2.1. RICHTLINIE 2011/70/EURATOM DES RATES vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle

Die Richtlinie 2011/70 /EU 11/ soll einen für alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union verbindlichen Regelungsrahmen für die sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle schaffen, der insbesondere verhindern soll, dass das Problem der Endlagerung künftigen Generationen aufgebürdet wird.

Die Richtlinie verweist hierzu inhaltlich i. W. auf Grundsätze, die bereits von der International Atomic Energy Agency der Vereinten Nationen (IAEA) und im Rahmen des Gemeinsamen Übereinkommens über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle (sog. „Joint Convention“ /IAEA 97/) formuliert wurden.

Ein Schwerpunkt der Richtlinie ist die Verpflichtung der Mitgliedstaaten der Europäischen Union, die vorgesehenen Maßnahmen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle im nationalen Rahmen in einem Programm umfassend zu beschreiben, welches die bereits angefallenen und die zukünftig noch anfallenden radioaktiven Abfälle und bestrahlten Brennelemente umfasst. Hiermit soll Transparenz und Nachvollziehbarkeit von notwendigen Entscheidungen gegenüber der Öffentlichkeit hergestellt werden, gerade auch im Hinblick auf die Endlagerung der radioaktiven Abfälle und bestrahlten Brennelemente.

Weitere Eckpunkte sind das Vorhandensein

- nationaler „Vorkehrungen für die sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle“ (wobei die Vorkehrungen selbst nicht spezifiziert sind und in der Verantwortung des jeweiligen Mitgliedstaates festgelegt werden sollen).
- eines Genehmigungssystems inklusive dem Verbot von ungenehmigten Tätigkeiten im Hinblick auf die Entsorgung
- eines Kontrollsystems mit mehreren Kontrollinstanzen (Management und Regulierungsbehörde, Trennung von Betrieb und Aufsicht) sowie Dokumentations- und Berichtspflichten
- von Durchsetzungsmaßnahmen inklusive Sanktionsmöglichkeiten
- von Vorschriften für die Unterrichtung und die Beteiligung der Öffentlichkeit
- von Finanzierungsregelungen
- von Maßnahmen zur regelmäßigen Evaluation und kontinuierlichen Verbesserungen des nationalen Systems

Die Richtlinie ist von allen EU-Mitgliedstaaten in nationales Recht umzusetzen und demzufolge verbindlich. Frankreich hat an der Erarbeitung der Richtlinie federführend mitgearbeitet und sie inhaltlich in weiten Teilen geprägt, weshalb das französische System bereits an sich den Inhalten der Richtlinie 2011/70 entspricht.

Hinsichtlich der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Allgemeinen und der potenziellen Endlagerung hoch- und mittelradioaktiver Abfälle am Standort CIGÉO im Besonderen verfolgt Frankreich den Weg, die eigenen radioaktiven Abfälle im nationalen Rahmen endzulagern, was auch dem bevorzugten Grundsatz der Richtlinie 2011/70³ entspricht. Die in der Richtlinie mit dem Vorbehalt der Einhaltung bestimmter Kriterien ebenfalls enthaltene Option einer Endlagerung in einem Drittland⁴ wird nicht verfolgt.

Hinsichtlich der zukünftig noch anfallenden hochradioaktiven Abfälle ist mit Blick auf das Endlagervorhaben CIGÉO anzumerken, dass Frankreich langfristig die Nutzung der Kernenergie vorsieht und das Endlagervorhaben CIGÉO in seiner derzeitigen Auslegung (10.000 m³ hochradioaktiver Abfall und 70.000 m³ langlebiger mittelradioaktiver Abfall) entweder nicht das einzige Endlager seiner Art in Frankreich bleiben wird oder aber zu gegebenem Zeitpunkt einer Kapazitätserweiterung entgegensteht.

Hinsichtlich grenzüberschreitender Effekte verweist die Richtlinie lediglich im Zusammenhang mit der Unterrichtung und Beteiligung der Öffentlichkeit auf den erforderlichen *„Einklang mit nationalem Recht und internationalen Verpflichtungen, sofern dadurch nicht andere Interessen - wie unter anderem Sicherheitsinteressen -, die im nationalen Recht oder in internationalen Verpflichtungen anerkannt sind, gefährdet werden.“*⁵ Über diesen Verweis ist in jedem Fall die Beteiligung von Nachbarstaaten im Rahmen grenzüberschreitender Umweltverträglichkeitsprüfungen angesprochen, zu der Frankreich auch im Rahmen der ESPOO-Konvention verpflichtet ist. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass das Verfahren zur Errichtung des Endlagers CIGÉO mit der derzeitigen *„débat public“* diesen formalen Status noch nicht erreicht hat. Das förmliche Verfahren beginnt mit der eigentlichen Antragstellung, die seitens Andra für das Jahr 2015 angekündigt ist.

2.2. IAEA Specific Safety Guides

Die beiden hier im Folgenden betrachteten Sicherheits-Leitlinien sind Bestandteil der von IAEA herausgegebenen „IAEA Safety Standards Series“. Die hier veröffentlichten Standards repräsentieren ein in der internationalen Staatengemeinschaft erzieltes gemeinsames Verständnis über die Anforderungen an den Schutz für Mensch und Umwelt gegenüber Schadwirkungen durch ionisierende Strahlung. Adressaten sind nationale Regulierungs- und Aufsichtsbehörden.

Hinsichtlich ihrer Verbindlichkeit ist darauf hinzuweisen, dass die IAEA Safety Standards in einem hierarchischen System als Safety Fundamentals, Safety Requirements und Safety Guides organisiert sind.

- Safety Fundamentals beschreiben die grundlegenden Zielsetzungen, Konzepte und Prinzipien für die Sicherheit und den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vor den Gefahren aus der friedlichen Nutzung der Kernenergie. Sie sind in einem Dokument (SF-1, „Safety Fundamentals“) zusammengefasst. Die hier dargestellten Grundsätze werden in Form von

³ Artikel 4, Satz 4 der RL 2011/70 EURATOM

⁴ a.a.O.,

⁵ Artikel 10 der RL 2011/70 EURATOM

„Muss-Bestimmung“ („must“ statements) formuliert. Die Safety Fundamentals bilden die Grundlage und immer geltende Referenz für alle unteretzten Dokumente (Requirements, Guides).

- Safety Requirements beschreiben Anforderungen, die als Voraussetzung zur Gewährleistung der Sicherheit zwingend erforderlich sind. Sie werden als „Soll-Bestimmungen“ („shall“ statements) formuliert und orientieren sich eng an den Grundsätzen der „Safety Fundamentals“.
- Safety Guides fassen Empfehlungen zu sinnvollen Verfahren, Randbedingungen und Vorgehensweisen zusammen, deren Umsetzung zur Erfüllung der Safety-Requirements führen. Sie werden als „Sollte-Bestimmung“ („should“ statements) formuliert und empfohlen, ohne alternative oder abgestufte Vorgehensweisen auszuschließen, wenn sie im Ergebnis zu vergleichbaren Resultaten hinsichtlich des angestrebten Sicherheitsniveaus führen.

Die Einhaltung der in den Safety Standards, insbesondere den Safety Fundamentals und den Safety Requirements, formulierten Grundsätze ist für einen Staat Voraussetzung für eine Zusammenarbeit mit der IAEA. Im Fall der Behandlung radioaktiver Abfälle beruht die daraus erwachsende Verbindlichkeit darüber hinaus grundlegend auf den Vereinbarungen des Gemeinsamen Übereinkommens über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle (der sog. „Joint Convention“) /IAEA 97/. Frankreich gehört zu den Unterzeichnerstaaten und ist insofern an die von der IAEA formulierten Grundsätze gebunden.

IAEA bezeichnet die Sicherheit im Allgemeinen als nationale Verantwortung. Nichtsdestotrotz weist IAEA in ihren Safety Standards regelmäßig⁶ auch darauf hin, dass Strahlungsrisiken grenzüberschreitend sein können, und dass internationale Zusammenarbeit dazu beiträgt, aus dem Erfahrungsaustausch zu lernen und darüber hinaus die Fähigkeiten stärkt, Gefahren unter Kontrolle zu halten, Unfälle zu vermeiden, auf Notfälle zu reagieren und Konsequenzen so gering wie möglich zu halten.

2.2.1. IAEA Specific Safety Guide SSG-14: Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste (2011)

Die IAEA-Leitlinie SSG-114 beschreibt die aus Sicht der internationalen Atomenergieagentur (IAEA) grundlegenden Eigenschaften und Prinzipien der geologischen Endlagerung, womit die untertägige Endlagerung fester radioaktiver Abfälle in einer stabilen und langzeitsicheren geologischen Formation gemeint ist.

SSG 14 enthält insbesondere Hinweise zur geologischen Endlagerung im Zusammenhang mit

- Rechtlicher und organisatorischer Infrastruktur (Grundpflichten und Verantwortung der Regierung, Verwaltung und des Betreibers)
- Sicherheitsansatz
- Safety Case und Sicherheitsanalyse

⁶ Jedem IAEA-Dokument der "Safety Standards Series" ist ein i. W. gleichlautendes Kapitel „THE IAEA SAFETY STANDARDS“ vorangestellt

- Schrittweises Vorgehen bei der Entwicklung eines geologischen Endlagers

In Anhängen werden außerdem Hinweise zur Standortauswahl (Siting) und zur Langzeitsicherheitsanalyse (Post Closure Safety Assessment) gegeben.

An mehreren Stellen wird angeführt, dass die derzeit international vorliegenden Erfahrungen im Bereich der tiefen geologischen Endlagerung „begrenzt“ sind, was im Kern darauf abzielt, dass es insbesondere für hochradioaktive Abfälle weltweit noch kein betriebsbereites Endlager dieses Typs gibt. Einzige erwähnenswerte Ausnahme für ein geologisches Endlager in Betrieb ist die „WIPP-Site“⁷ in den USA, in der in einer Salzformation langlebige radioaktive Abfälle mit hohen Gehalten an Transuranen aus dem militärischen Bereich endgelagert werden.

Rechtliche und organisatorische Infrastruktur

Eine Kommentierung des französischen Rechts- und Verwaltungssystems im Hinblick auf die geologische Endlagerung ist nicht Gegenstand der hier zu bearbeitenden Fragestellungen, daher sei an diese Stelle nur vermerkt, dass das französische System international als wohl strukturiert und ausgereift wahrgenommen wird, und dass die Grundpflichten und Verantwortung der einzelnen Akteure in nicht zu beanstandender Weise voneinander abgegrenzt sind. Hinsichtlich der Einbindung von Stakeholdern macht SSG-14 keine inhaltlichen Vorgaben sondern verweist auf den nationalen Kontext: *„The types of involvement of interested parties in decision making processes concerning geological disposal of radioactive waste will vary depending on national laws, regulations and preferences.“*⁸

Für die Verwaltungsebene wird in SSG-14 empfohlen: *„The regulatory body has to arrange for independent research and assessments, and has to participate in international cooperation as necessary in order to carry out its regulatory functions“.*⁹ Diesbezüglich ist in Frankreich die Aufsichtsbehörde ASN als Ansprechpartner für grenzüberschreitende Interessen zu nennen.

Der zukünftige Betreiber des Endlagers, Andra, ist grundsätzlich für die Planung und Errichtung einer sicheren Anlage und für ihren sicheren Betrieb verantwortlich.

Sicherheitsansatz

SSG-14 unterscheidet hinsichtlich des Sicherheitsansatzes zwischen „Containment“, womit der Einschluss von Radionukliden innerhalb des Endlagers selbst gemeint ist (und zwar innerhalb des engeren Einlagerungsbereichs), und „Isolation“, womit die Eigenschaften des Wirtsgesteins gemeint sind, die dazu führen, dass Radionuklide in der Geosphäre zurückgehalten werden und ein Transfer in die Biosphäre vermieden wird.

⁷ „Waste Isolation Pilot Plant“

⁸ SSG-14, art. 3.3, p. 9

⁹ SSG-14, art. 3.7, p. 10

Beide Begriffe sind grundlegende Eigenschaften einer geologischen Endlagerung, die zusammen sicherzustellen haben, dass Mensch und Umwelt wirksam vor Schädigungen durch ionisierende Strahlung und toxische Eigenschaften von Radionukliden geschützt werden.

Dabei werden keine Vorgaben gemacht, welchen Anteil die jeweiligen Funktionen an der System-sicherheit des Endlagers haben sollen.

Die in Deutschland in Verbindung mit der Endlagerung im Salz diskutierte Option des sicheren Einschlusses im Wirtsgestein Salz beispielsweise misst dem Containment die primäre Sicherheitsfunktion zu: in der normalen (ungestörten) Entwicklung eines solchen Endlagers ist nicht zu erwarten, dass Radionuklide den Endlagerbereich während des Nachweiszeitraums überhaupt verlassen.

Bei einem Endlagerkonzept im Wirtsgestein Tonstein, wie im vorliegenden Fall, ist hingegen die Freisetzung lediglich geringfügiger Mengen an Radionukliden Gegenstand des Nachweises. Die langfristige Freisetzung selbst ist im Tonsteinkonzept systemimmanent für die Normalentwicklung, sie darf nicht mehr als geringfügig sein. In einem solchen Konzept kommt also der Isolation im Wirtsgestein eine zentrale Bedeutung zu.

Beide Konzepte sind mit den Empfehlungen der SSG-14 kompatibel. Erreicht werden soll Sicherheit dabei durch eine Abfolge von gestaffelten Sicherheitsfunktionen (Barrieren), beginnend mit der Abfallmatrix, über Abfallbehälter, verschiedene technische Barrieren im Endlagerbergwerk (Buffer, Strecken- und Schachtverschlüsse) und das Wirtsgestein. Dabei ist die Sicherheit soweit realisierbar („to the fullest extent possible“¹⁰) auf passiven Systemen aufzubauen, die nach Verschluss des Endlagers die Notwendigkeit von aktiven Eingriffen minimieren.

Safety Case, Sicherheitsanalyse und schrittweises Vorgehen

Der Nachweis der Sicherheit des Endlagervorhabens folgt nach internationalem Verständnis einem schrittweisen Vorgehen. Entsprechend der Entwicklung des Endlagervorhabens und dem sich fortentwickelnden Kenntnisstand ist der sogenannte „Safety Case“ und sind die dazugehörigen Sicherheitsanalysen für jeden wesentlichen Verfahrensschritt von der Planung über Betrieb und Verschluss aufzustellen bzw. fortzuschreiben. Sich hierbei ergebende neue sicherheitsrelevante Erkenntnisse sind zur Optimierung des Systems zu nutzen.

Weder die in /Andra 05/ noch in /Andra 10/ zusammengestellten Informationen zur Endlagerung im Tonstein im Allgemeinen und zur Begründung der Standortauswahl des CIGÉO im Besonderen stellen zum jetzigen Zeitpunkt bereits eine dem „Safety Case“ äquivalente Dokumentation der Sicherheit des geplanten Endlagers dar. Da die darin enthaltenen Informationen und Annahmen i.W. nicht auf standortspezifischen Kenntnissen sondern auf Forschungsergebnissen und ihrer Übertragung auf den regionalen Kontext beruhen, haben sie vorläufigen Charakter. Sie enthalten allerdings wesentliche Grundlagen und methodische Entwicklungen und werden sicherlich im Rahmen des Genehmigungsverfahrens zur Entwicklung des erforderlichen standortspezifischen Sicherheitsnachweises heranzuziehen sein. Dabei soll der Sicherheitsnachweis in diesem ersten Schritt „nur“ die Genehmigung zur Errichtung des Endlagers zum Ziel haben. Eine Genehmigung zum Betrieb des Endlagers ist erst nach Auswertung aller bei der Errichtung des Endlagers gewonne-

¹⁰ SSG-14, Req. 5, p. 18

nen Kenntnisse denkbar, bis zu diesem Zeitpunkt steht der Betrieb des Endlagers dem Grundsatz des schrittweisen „Safety Case“ nach unter Vorbehalt.

Standortauswahl (Siting) und Langzeitsicherheitsanalyse (Post-Closure Safety Assessment)

Hinsichtlich der Standortauswahl unterscheidet SSG-14 vier Phasen¹¹:

- (i) Konzept- und Planungsphase;
- (ii) Phase der regionalen Erkundung mit dem Ziel der Eingrenzung der Auswahloptionen für eine vertiefte Erkundung;
- (iii) Phase der Standorterkundung
- (iv) Eignungsnachweis

Ordnet man den Stand des französischen Endlagervorhabens hier ein, muss konstatiert werden, dass sich das Verfahren zwischen Phase (ii) und (iii) befindet: Der Standort CIGÉO wurde auf Basis der im Untertagelabor Bure erzielten Forschungsergebnisse inkl. Ausweisung der „Zone de transposition“ in der eingegengten "Zone d' intérêt pour la reconnaissance approfondie“ nördlich der Ortschaft Bure verortet, der Standort selbst ist aber noch nicht in dem Maße erkundet, dass der Eignungsnachweis als erbracht angesehen werden kann.

Andra's Zeitplan zur Errichtung des Endlagers sieht eine Inbetriebnahme des Endlagers (i.e. des ersten Endlagersektors) vorbehaltlich einer hierzu zu erteilenden Genehmigung für das Jahr 2025 vor¹². Vorgesaltet sind der Beginn des eigentlichen Genehmigungsverfahrens in 2015 und der Baubeginn in 2019. Das Endlager soll nach 2030 sektorweise erweitert werden, begleitet von einer regelmäßigen Sicherheitsüberprüfung in 10-Jahres-Rhythmus.

In allen kommenden Phasen werden standortspezifische Informationen erhoben werden, die insbesondere bezogen auf die eigentliche Standorteignung, die Beschreibung des Nahfeldverhaltens und die daraus abzuleitenden Langzeitsicherheitsaussagen eine größere Relevanz für die Sicherheitsbeurteilung haben als die bis dato erzielten Forschungs- und Erkundungsergebnisse. Nur wenn die bisherigen positiven Annahmen durch die Realität vor Ort bestätigt werden, kann ein hinlängliches Vertrauen in die Langzeitsicherheit des Endlagers aufgebaut werden.

Es wurde bereits festgestellt, dass die bis dato vorgelegten Unterlagen noch keine Langzeitsicherheitsanalyse für den Standort CIGÉO darstellen. Wesentlich erscheint, dass SSG-14 in diesem Zusammenhang der Qualität der Modellierung und dem Vertrauen in die Modellergebnisse einen großen Stellenwert zumisst: „A key issue in safety assessments for a disposal facility is to develop confidence in the results of modelling.“¹³. Dies ist einleuchtend. Andra hat diesbezüglich in den letzten Jahrzehnten im Rahmen ihrer Forschungsarbeiten das methodische Gerüst hierfür erarbeitet. Es ist aber zu betonen, dass zum Vertrauen in die Modellergebnisse auch die Qualität der hierfür erforderlichen Inputparameter zählt, und hier steht die eigentliche Standorterkundung noch aus.

¹¹ SSG-14, Appendix I, p. 55

¹² /Andra 13/

¹³ SSG-14, Appendix II, art. II.4

2.2.2. IAEA Specific Safety Guide SSG-23: The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste (2012)

Der Safety Guide SSG-23 enthält Leitlinien und Empfehlungen im Hinblick auf den "Safety Case" und die zugehörigen Sicherheitsanalysen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Zusammengefasst gliedert sich das Dokument in die Themenblöcke

- Nachweis der Sicherheit der Endlagerung radioaktiver Abfälle
- Sicherheitsgrundlagen, Sicherheitsanforderungen und „Safety Case“
- Analyse der radiologischen Auswirkungen in der Nachverschlussphase
- Besonderheiten, Dokumentation und behördliche Prüfung

SSG-23 gilt dabei für alle Arten radioaktiver Abfälle und deren Endlagerung; im Rahmen der hier zu bearbeitenden Fragestellung beziehen sich die folgenden Hinweise allerdings ausschließlich auf den Zusammenhang mit dem französischen Endlagervorhaben CIGÉO.

Nachweis der Sicherheit

Oberstes Ziel der Endlagerung ist der Schutz von Mensch und Umwelt vor den Schädwirkungen ionisierender Strahlung. Motivation für die Endlagerung ist außerdem der Grundsatz der Generationengerechtigkeit: nachfolgenden Generationen dürfen durch die Entstehung radioaktiver Abfälle keine unzumutbaren Lasten und Verpflichtungen aufgebürdet werden.

Als bevorzugte Strategie wird der dauerhafte Einschluss der radioaktiven Abfälle und ihre Isolation von der Biosphäre genannt. In Abhängigkeit vom Gefährdungspotenzial der jeweils einzulagernden Abfälle wird international ein abgestufter Ansatz („graded approach“) akzeptiert, wobei für hochradioaktive und langlebige radioaktive Abfälle mit der geologischen Endlagerung die höchste Sicherheitsstufe angemessen ist. Bemerkenswert im Zusammenhang mit dem französischen Endlagervorhaben ist die Feststellung *“Disposal facilities are not expected to provide complete containment and isolation of the waste forever; this is neither practicable nor demanded by the hazard of the waste, which declines with time.”*¹⁴ Diese Feststellung unterstützt das in Frankreich verfolgte Endlagerkonzept im Tonstein, das als Gegenstand des Nachweises eine nur geringfügige Freisetzung von Radionukliden über lange Zeiträume beinhaltet.

Sicherheitsgrundlagen, Sicherheitsanforderungen und „Safety Case“

Im Wesentlichen wird hier auf die „Fundamental Safety Principles“ der IAEA und ihre Umsetzung im Bereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle verwiesen:

- Verantwortung des Abfallerzeugers für die Sicherheit
- Verantwortung der Regierung
- Primat der Sicherheit vor allen anderen Projekttrandbedingungen
- Rechtfertigung

¹⁴ SSG-23, art. 2.2. p. 4

- Optimierung
- Risikobegrenzung für Einzelpersonen
- Gleichwertiger Schutz der heutigen und zukünftigen Generationen
- Unfallvermeidung
- Notfallvorsorge und Notfallschutz
- Schutz vor bestehenden oder unkontrollierten Strahlenrisiken

Wesentliche Methoden zum Sicherheitsnachweis sind der „Safety Case“ und die zugehörigen Sicherheitsanalysen sowie die Anforderungen hieran. Die Sicherheitsanalysen umfassen dabei nicht nur die radiologischen Auswirkungen des Endlagers sondern in gleicher Weise auch nichtradiologische Auswirkungen sowie Organisation, Management und Qualitätssicherung. Ein schrittweises Vorgehen, bei dem an definierten Haltepunkten die vorher getätigten Sicherheitsaussagen zu prüfen sind (beispielsweise vor Errichtung, vor Inbetriebnahme, regelmäßig während des Betriebs, vor Stilllegung und Verschluss) ist international anerkannt. Bei der auch in Frankreich vorgesehenen abschnittswisen Entwicklung des Endlagers und der Vorgabe der Umkehrbarkeit ist darauf hinzuweisen, dass jeder neue Endlagerabschnitt sowohl für sich selbst als auch im Zusammenhang mit dem gesamten Endlagersystem in analoger Weise sicherheitlich geprüft werden muss.

Der „Safety Case“ ist auch Gegenstand der Beteiligung interessierter Stakeholder, wird also schon in seiner ersten Fassung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens auch hinsichtlich der Betroffenheit von Nachbarstaaten zu prüfen sein. SSG-23¹⁵ empfiehlt eine frühzeitige Beteiligung interessierter Dritter in einem offenen und transparenten Verfahren mit klardefinierten Verfahrensregeln. Ebenso empfohlen wird eine unabhängige Überprüfung durch nicht am Vorhaben beteiligte Fachleute („independent review“)¹⁶. Letzteres wird heute in der Regel auf internationaler Ebene (als „international peer review“) durchgeführt und bedingt daher in aller Regel die Verfügbarkeit der zentralen Dokumente in englischer Sprache.

Es ist einmal mehr festzustellen, dass entsprechende Dokumente von Andra bisher noch nicht vorgelegt wurden bzw. erstmals in verbindlicher Form mit dem in 2015 angekündigten Genehmigungsantrag für die Errichtung des Endlagers vorzulegen sind. Alle bisherigen Aussagen sind unter den Vorbehalt zu stellen, dass der eigentliche Standort CIGÉO den derzeitigen Forschungsergebnissen und Annahmen auch entspricht.

Analyse der radiologischen Auswirkungen in der Nachverschlussphase

Die Analyse der radiologischen Auswirkungen des Endlagers auf die Umwelt in einer Langzeitperspektive nach Verschluss des Endlagers ist einer der wesentlichen Teile der Sicherheitsanalysen und damit auch des „Safety Case“. SSG-23 behandelt insbesondere die mit der Sicherheit in der Nachbetriebsphase verbundenen Aspekte des „Safety Case“.

¹⁵ SSG-23, art. 4.91, p 42

¹⁶ SSG-23, art. 4.92 ff., p. 42

Andra hat diesbezüglich das methodische Rüstzeug entwickelt und aus den bisherigen Erkenntnissen zum Untertagelabor Bure und zur „Zone de transposition“ positive Aussagen hinsichtlich des Langzeitverhaltens eines Endlagers am Standort CIGÉO abgeleitet. Die wesentlichen Szenarien und Modelle im regionalen Maßstab sind entwickelt und werden sicherlich im Genehmigungsverfahren angewendet werden. Als zentrales Sicherheitskriterium für die Langzeitsicherheit wird die Einhaltung einer durch das Endlager hervorgerufenen Individualdosis von weniger als 0,25 mSv/a gefordert und durch die Modellberechnungen verschiedener Szenarien demonstriert. Diese Vorgehensweise entspricht internationalem Konsens¹⁷.

Die von Andra betrachteten Szenarien ergaben bis dato offenbar keine Werte oberhalb 0,25 mSv/a. Inwiefern die Annahmen und Szenarien den tatsächlichen Zustand des geplanten Standorts CIGÉO widerspiegeln und ob das Endlagersystem in der vorgesehenen Qualität errichtet wird, ist noch zu zeigen. Es ist auch nicht möglich, diesen Zustand a priori abzubilden, vielmehr ist es erforderlich, die Ausgangsannahmen, die den Sicherheitsanalysen und den Sicherheitsausagen zugrunde liegen, und die im Erfolgsfall zur Erteilung einer Errichtungsgenehmigung führen werden, regelmäßig im Verfahrensverlauf an den sich entwickelnden Kenntnisstand anzupassen. Darüber hinaus kann es sinnvoll sein, die Robustheit (bzw. die Versagensgrenzen) des Systems bewusst auszuloten und Szenarien zu beschreiben, die bei einer entsprechend hohen Abweichung zentraler Endlagereigenschaften (e.g. ungünstigere Wirtsgesteinseigenschaften) die Langzeitsicherheit in Frage stellen würden. Hieraus ergäben sich auch Hinweise auf die im System enthaltenen Sicherheitsreserven.

Ein weiteres Charakteristikum der Analyse der radiologischen Auswirkungen ist die in SSG-23 enthaltene Empfehlung¹⁸, die zugehörigen Analysen mit einer Anzahl unterschiedlicher Ansätze (probabilistische und deterministische Ansätze, Modelle unterschiedlicher Komplexität und mit verschiedenen Ergebnisindikatoren) durchzuführen. Eine derartige Vorgehensweise kann ggf. vorhandene Abhängigkeiten der Analysenergebnisse und der daraus abgeleiteten Interpretationen von der jeweiligen Modellarchitektur aufzeigen und, bei hinreichender Ähnlichkeit der Ergebnisse, das Vertrauen in die Sicherheitsaussage stärken.

Inwiefern Andra eine derartige Vorgehensweise verfolgt, bedarf einer komplexeren Prüfung als es im Rahmen der hier bearbeiteten Fragestellung möglich ist. Es ist eine typische Fragestellung für ein zukünftiges „independent review“ sowie für die behördliche Prüfung der von Andra vorzulegenden Genehmigungsunterlagen.

¹⁷ SSG-23, art. 5.8, p. 46. IAEA akzeptiert in den Safety Requirements SSR-5 /IAEA 11b/ eine Dosisbegrenzung auf 0,3 mSv/a

¹⁸ SSG-23, art. 5.10, p. 46

Besonderheiten, Dokumentation und Behördliche Prüfung

SSG-23 beschreibt in diesen Kapiteln Details zu speziellen Aspekten eines „Safety Case“ für die Endlagerung aller Arten von radioaktiven Abfällen. Bezogen auf das Vorhaben CIGÉO ergeben sich folgende Zusammenhänge:

- Bedeutung und Entwicklung des Safety Case in den verschiedenen Entwicklungsstadien des Endlagervorhabens:
Auf die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung des Safety Case von einer präliminären Erstfassung (wie sie von Andra im Genehmigungsverfahren vorgelegt werden wird) über die verschiedenen Phasen der Endlagerentwicklung bis zum Verschluss wurde bereits hingewiesen.
- Abgestufter Sicherheitsansatz („graded approach“):
Aufgrund der vorgesehenen Einlagerung von hoch radioaktiven und langlebigen mittel radioaktiven Abfällen sind an das Endlagervorhaben CIGÉO die höchsten Sicherheitsansprüche zu stellen.
- Gestaffelte Sicherheitsbarrieren („defence in depth“):
Andra beschreibt hinsichtlich der Langzeitsicherheit die verschiedenen Barrieren, ausgehend von den Abfällen selbst, der Abfallmatrix, den Abfallbehältern, den Einlagerungshohlräumen und den technischen Barrieren bis hin zum Wirtsgestein und dem nur geringfügigen Übertritt von Radionukliden in die Biosphäre.
- Robustheit:
Die Versagensgrenzen des von Andra vorgeschlagenen Endlagersystems wurden bisher nicht ausgelotet.
- Beurteilungszeitraum:
Andra rechnet mit dem maximalen Effekt des Endlagers auf die Individualdosis in einem Zeitraum nach 100.000 Jahren. Spezifische Szenarien und Berechnungen (z. B. im Zusammenhang mit der Entwicklung der Biosphäre) werden bis in eine Zukunft in einer Million Jahren modelliert.
- Menschliches Eindringen:
Aufgrund der ansonsten eher unattraktiven geologischen Situation (nach Ansicht von Andra gibt es am Standort außer dem oberflächennahen Grundwasser keine ausbeutbaren Ressourcen) schließt Andra das spätere (unbeabsichtigte) menschliche Eindringen aus. Eine Abwägung des von dritter Seite für die Region vorgebrachten Geothermiepotenzials mit dem Endlagervorhaben mit dem Ziel einer Priorisierung der sich hier abzeichnenden Interessenskonflikte obliegt der Abwägung im Genehmigungsverfahren und muss dort auch zwingend erfolgen.
- Endlagerüberwachung (nach Verschluss) und Rückholbarkeit:
Endlager und Umwelt sollen während Errichtung und Betrieb des Endlagers überwacht werden, der Ausgangszustand der Biosphäre soll durch eine vorgeschaltete Datensammlung (écothèque) dokumentiert werden. Das französische System sieht nach Beendigung der Abfalleinlagerung eine Phase der Offenhaltung mit Überwachung und möglicher Abfallrückholung für 100 Jahre vor. Eine rechtliche Regelung diesbezüglich steht noch aus. Angaben zu einer externen Überwachung des Endlagers nach dessen Verschluss sind noch nicht formuliert. Andra beschreibt in /Andra 13/, dass am Standort nach Verschluss des Endlagers ein „centre de la mémoire“ verbleibt, in dem die Information über die Existenz

des Endlagers konserviert werden soll. Außerdem soll eine fachgerechte und langlebige Archivierung der endlagerelevanten Informationen erfolgen.

- Abwägung verschiedener Optionen:

Das Verfahren zur Herleitung der Standortentscheidung ist nicht Gegenstand des hier vorgelegten Gutachtens. IAEA macht diesbezüglich auch keine verbindlichen Vorgaben sondern gibt lediglich Verfahrenshinweise.

Die Art der Dokumentation des Safety Case und die Gestaltung der behördlichen Prüfung im Aufsicht- und Genehmigungsverfahren sind für eine Beurteilung des tatsächlichen Safety Case für das Endlagervorhaben CIGÉO im Genehmigungsverfahren relevant. Eine erstmalige Vorlage des Safety Case kann mit Beginn des Genehmigungsverfahrens in 2015 erwartet werden. Zum jetzigen Zeitpunkt wäre eine vertiefte Stellungnahme auf Grundlage der bis dato vorgelegten Unterlagen unvollständig und verfrüht.

2.3. Veröffentlichungen der OECD/NEA

Aufgabe der OECD/NEA (Nuclear Energy Agency bei der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) ist es u.a., ihre Mitgliedstaaten bei der Weiterentwicklung der wissenschaftlichen, technologischen und gesetzlichen Grundlagen im Bereich des Managements radioaktiver Abfälle zu unterstützen. Zu diesem Zweck sammelt und evaluiert die NEA weltweite Erfahrungen und Forschungsergebnisse, initiiert eigene Vorhaben und organisiert bei Bedarf internationale Review-Prozesse. Die in diesem Zusammenhang publizierten Dokumente haben keinen Rechtscharakter im Sinne einer Verbindlichkeit, werden aber in den Mitgliedstaaten als Beitrag zur Ermittlung des Standes von Wissenschaft und Technik beachtet und verwendet. Die in den Veröffentlichungen ausgedrückten Meinungen und Standpunkte müssen dabei nicht notwendiger Weise mit der offiziellen Sichtweise der OECD oder der Regierungen ihrer Mitgliedstaaten übereinstimmen.

2.3.1. OECD/NEA: Reversibility of Decisions and Retrievability of Radioactive Waste (2012)

NEA hat sich in diesem Dokument /NEA 12a/ mit den Aspekten der Umkehrbarkeit von Entscheidungen (Reversibility) und der Rückholbarkeit von Abfällen (Retrievability) auseinandergesetzt. Ein wesentliches Ergebnis dabei war, dass Umkehrbarkeit und Rückholbarkeit zwar Bausteine in einer immer größer werdenden Anzahl nationaler Programme zur Endlagerung radioaktiver Abfälle sind, dass sich das inhaltliche Verständnis diesbezüglich allerdings deutlich unterscheidet („*Indeed, no two programmes appear to be the same in this respect.*“¹⁹). Aus diesem Grund hat die NEA für die beiden Begriffe einheitliche Definitionen vorgeschlagen:

¹⁹ NEA 12a, p. 7

Reversibility (of decisions) (franz.: Réversibilité des décisions, dt.: Umkehrbarkeit von Entscheidungen): beschreibt die Fähigkeit an sich, Entscheidungen umzukehren, die im Verlauf der fortschreitenden Umsetzung eines Endlagersystems getroffen wurden. Als Umkehrung wird der dazu gehörende Prozess verstanden, eine getroffene Entscheidung zu überdenken und zu ändern, sei es durch einen Wechsel der bisher eingeschlagenen Richtung oder durch Wiederherstellung der Ausgangssituation vor der Entscheidung. Umkehrbarkeit setzt voraus, dass entsprechende Vorkehrungen getroffen werden, die eine Umkehrung erforderlichenfalls auch erlauben.

Retrievability (franz.: récupérabilité, dt.: Rückholbarkeit²⁰): bezeichnet die Fähigkeit an sich, Abfall oder komplette Abfallbehälter nach ihrer Einlagerung in ein Endlager bergen zu können. Rückholung bezeichnet den konkreten Vorgang der Entfernung des Abfalls. Rückholbarkeit setzt voraus, dass entsprechende Vorkehrungen getroffen werden, die eine Rückholung erforderlichenfalls auch erlauben.

Das französische Parlament hat 2006 die Anforderung rechtlich fixiert /F 06/, dass die tiefe geologische Endlagerung über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren umkehrbar (reversible) sein soll. Die näheren Bedingungen hierfür sollen in einem weiteren Gesetz verankert werden, das vor der Erteilung der Errichtungsgenehmigung für das Endlager CIGÉO verabschiedet werden soll. Insofern sind die Umstände, die zu einer Umkehrung des Endlagervorhabens führen können, und die damit verbundenen Prüfpflichten und Notfall- oder Versagenskriterien noch nicht festgelegt. Es wird nicht deutlich, wie die Einhundertjahresfrist bezogen auf das einzelne Abfallgebilde zu interpretieren ist, ob also ältere Teilbereiche des Endlagers früher abgeworfen werden sollen/können oder ob die Umkehrbarkeit den Zeitraum nach Einlagerung des letzten Abfallgebildes für das Gesamtendlager umfasst.

Andra hat auf die Anforderung mit der Entwicklung technischer Konzepte reagiert, die eine Rückholung (récupération) von Abfallgebilden aus den Einlagerungsbereichen ermöglichen sollen. Mit dieser Entwicklung soll im Endeffekt eine vollständige Umkehrung der Endlagerung bis zu einem Zeitraum von 100 Jahren (nach Einlagerung des letzten Behälters?) technisch möglich gemacht werden.

Da allerdings weder die rechtlichen Rahmenbedingungen definiert sind noch die technischen Entwicklungen bereits Ausführungsreife haben (laut /Andra 13/ sind Prototypen in der Erprobung), sind die derzeitigen Annahmen zur Umsetzung der Umkehrbarkeit der Endlagerung als vorläufig zu betrachten.

Es ist anzumerken, dass die Fähigkeit zur Umkehrung der Endlagerung bereits bei der Planung und Errichtung des Endlagers relevant wird und nicht auf den Betriebs- und Nachbetriebszeitraum beschränkt ist: Im Sinne der NEA-Definition der Umkehrbarkeit ist die Notwendigkeit einer Umkehr Gegenstand von Prüfungen, die zu festgelegten Zeitpunkten (im Rahmen der schrittweisen Entwicklung und Genehmigung des Endlagers) und/oder in periodisch wiederkehrenden Intervallen zu erfolgen haben und bei denen die jeweils vorher getroffenen Entscheidungen bewusst in Frage gestellt werden.

²⁰ In /BMU 10/ wird Rückholbarkeit als „die geplante technische Möglichkeit zum Entfernen der eingelagerten radioaktiven Abfallbehälter aus dem Endlagerbergwerk bezeichnet“.

2.3.2. OECD/NEA: Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste (2012)

Das Dokument /NEA 12b/ fasst die Ergebnisse des gleichnamigen NEA-Projekts (Kurzname: MeSA) zusammen, in dem im Zeitraum 2008 bis 2010 eine Expertengruppe den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik bei Ansätzen zur Sicherheitsanalyse zusammengetragen hat. Es handelt sich dabei i.W. um qualitative methodische Betrachtungen zu den Grundlagen der Sicherheitsanalyse. Sie beinhalten keine per se für eine grenzüberschreitende Betrachtung ausschlaggebenden Empfehlungen, verweisen aber auf einen hohen methodischen Entwicklungsstand in der Sicherheitsanalyse, der auch für den im Rahmen des Endlagervorhabens CIGÉO noch vorzulegenden Safety Case und im Rahmen seiner Prüfung im Genehmigungsverfahren vorzusetzen ist.

Im Einzelnen sei hier schlaglichtartig auf folgende Aspekte hingewiesen:

- Sicherheitsanalyse im Kontext des Sicherheitsnachweises (Safety Case):
Im Zusammenhang mit dem „Safety Case“ wird darauf hingewiesen, dass einerseits die Methodik der Sicherheitsanalyse die Randbedingungen für die erforderlichen Forschungs- und Erkundungsprogramme sowie die grundsätzlichen Planungskennzahlen und Prüfaufgaben definiert. Andererseits erzeugt die eigentliche Entwicklung eines Endlagers diejenigen Daten, die für eine schrittweise Überprüfung der Sicherheitsanalysen erforderlich sind. Bezogen auf das Vorhaben CIGÉO wird also auch hier das Wechselspiel zwischen Ausgangshypothese und ihrer Überprüfung durch standortspezifische Daten betont. Diesbezüglich werden klare und effektive Informationsflüsse zwischen den verschiedenen Planungs- und Entwicklungsbeteiligten empfohlen.
- Systembeschreibung und Szenarien:
Im Hinblick auf die Beschreibung der zukünftigen Endlagerentwicklung wird auf die Notwendigkeit der Untersuchung eines Spektrums an Szenarien hingewiesen, dass die Bandbreite „glaubhafter“ (credible) Szenarien abdeckt. Ausgangspunkt ist eine Systembeschreibung des Endlagers und seiner Umgebung. Für die zukünftigen Entwicklungen wird unterschieden zwischen erwartbaren Szenarien der Normalentwicklung (central scenarios, expected evolution(s)) und alternativen Szenarien, die weniger wahrscheinliche aber dennoch nicht auszuschließende Entwicklungen mit Einfluss auf die Sicherheit des Endlagers beschreiben. Sogenannte „What-if“-Szenarien dienen der Untersuchung der Robustheit des Systems. Auch wenn die darin beschriebenen Ereignisse an sich unwahrscheinlich oder in ihrer Kombination physikalisch unmöglich sein können, sollten sie genutzt werden, um die Versagensgrenzen des Endlagersystems auszuloten und damit auch Sicherheitsreserven darzustellen.
Ausgangszustand und Szenarien werden heutzutage meist in einer Zusammenstellung von „Merkmalen, Ereignissen und Prozessen“ (engl: features, events and processes, FEP) beschrieben. Ein wesentlicher Hinweis in diesem Zusammenhang ist auch hier die Fortentwicklung der Beschreibungen im Zusammenhang mit dem steigenden standortspezifischen Kenntnisstand: Kann zu Beginn der Analysen noch mit allgemeinen Datenbasen (z.B. FEP-Kataloge der NEA) gearbeitet werden, so muss dieser Ansatz im Lauf der Entwicklung eines Endlagerprojekts nach und nach durch ein standortspezifisches System- und Prozessverständnis ersetzt werden.
Übertragen auf das Vorhaben CIGÉO ist darauf hinzuweisen, dass hinsichtlich der Qualität der bis dato durchgeführten Sicherheitsanalysen seitens /IEER 11/ Kritik geäußert wurde. Insgesamt hat IEER den Eindruck, Andra gehe mit einer zu optimistischen Einschätzung in das Genehmigungsverfahren. Dabei werde in den durchgeführten Sicherheitsanalysen meist mit Durchschnittswerten und vergleichsweise kleinen Werteintervallen zur Sensitivitätsbetrachtung gearbeitet und die tatsächlich deutlich größere Bandbreite der vorhandenen Daten ausgeblendet.

IEER empfiehlt im weiteren Projektverlauf umfassende probabilistische Sicherheitsanalysen unter Berücksichtigung der gesamten dokumentierten Parameterbandbreite.

- Strategien für die Modellierung

Das mögliche Verhalten eines Endlagersystems in der Zeit und in Reaktion auf verschiedene Einflüsse kann nur unter Verwendung von Modellen untersucht und sichtbar gemacht werden. Auch die Grenzen der Modellierung werden betont: Modelle stellen immer Abstraktionen der natürlichen Gegebenheiten dar und beinhalten zwangsläufig Vereinfachungen. Entsprechend sorgfältig ist bei der Interpretation der Modellergebnisse vorzugehen. Die Datenerhebung und das Datenmanagement werden als zentrale Voraussetzung für die Modellierung genannt, ebenso wie ihre Rückverfolgbarkeit und die Sicherung der Datenqualität.

Andra hat in der Vergangenheit eine hohe Entwicklungsreife für die methodischen Werkzeuge zur Modellierung erreicht und erfährt hierfür internationale Anerkennung. Die Übertragung der Modelle auf den Standort CIGÉO und die regelmäßige Überprüfung der Modellaussagen durch Berücksichtigung des sich entwickelnden Kenntnisstands und neu gewonnener Daten sind Daueraufgaben, denen sich Andra im Genehmigungsverfahren und in der Entwicklung des Endlagerstandorts laufend stellen muss.

- Indikatoren für die Sicherheitsanalyse

Waren in den Anfängen der Sicherheitsanalyse Dosis und Risiko die zentralen Indikatoren, so hat sich diese Sichtweise heute deutlich erweitert. Zusätzliche Indikatoren wurden vorgeschlagen, u.a. mit dem Ziel, die Sicherheitsaussagen unabhängiger zu machen von den großen, aber nicht verringerbaren Unsicherheiten in der Modellierung von Klimaveränderungen oder menschlichem Verhalten und ihrem Einfluss auf Dosis- und Risikoabschätzungen. Zu den in /NEA 12b/ vorgeschlagenen Indikatoren gehören Konzentrationen und Flussraten von Radionukliden innerhalb der Geosphäre oder an der Grenze Geosphäre/Biosphäre, oder die Alterung von Barrieren und ihrer Fähigkeit zum Rückhalt von Radionukliden.

Da die Freisetzung von Radionukliden aus dem Endlager in einem Endlagerkonzept im Tongestein zur Normalentwicklung gehört, hat auch Andra umfangreiche Methoden entwickelt, um die Migration von Radionukliden durch die geologische Barriere (i.e. der jurassische Tonstein des Callovo-Oxfordien innerhalb der „Zone de transposition“) zu modellieren. Indikatoren, um die hierbei erzielten Ergebnisse zu bewerten, sind in den gesichteten Unterlagen nicht erwähnt. Eine reduzierte Funktion der Endlagerbarrieren wird im Rahmen von Szenarien betrachtet, dient aber selbst nicht als Indikator. Stattdessen wird die Einhaltung des Dosiskriteriums ($< 0,25$ mSv/a) dargestellt und dazu eine umfangreiche, allerdings i.W. auf Hypothesen zur Klimaentwicklung und zur Konstanz im menschlichen Verhalten aufbauende Biosphärenmodellierung durchgeführt. Dies ist insofern auch folgerichtig, als davon unabhängige Indikatoren immer dann besondere Stärken zeigen, wenn sie zum Vergleich unterschiedlicher Optionen (z.B. verschiedene Behälterbauweisen, unterschiedliche Abfallinventare, verschiedene Standorte) herangezogen werden. Da solche Vergleiche nicht Gegenstand der derzeitigen Diskussionen sind, sondern stattdessen die Geeignetheit des gewählten Endlagerkonzepts demonstriert werden soll, ist die Konzentration auf den zentralen Eignungsindikator der Dosisbegrenzung nachvollziehbar.

- Umgang mit Unsicherheiten

NEA unterscheidet zwischen Szenario-Unsicherheiten, Modell-Unsicherheiten und Daten bzw. Parameter-Unsicherheiten. Unsicherheiten sind selbstverständliche Merkmale jeglicher Sicherheitsanalysen. Sie drücken sich z.B. in Bandbreiten (und ggf. Verteilungsfunktionen) der jeweils betrachteten Parameter aus. Als Strategien im Umgang mit Unsicherheiten werden genannt:

- Nachweis der Irrelevanz einer bestimmten Unsicherheit für die Sicherheitsanalyse

- Umfassende und ausdrückliche Befassung mit der Unsicherheit und ihren Konsequenzen, z.B. durch probabilistische Analyse oder Sensitivitätsstudien (Beschreibung von Bandbreite und Verteilung, Analyse der Ergebniswahrscheinlichkeiten)
- Eingrenzen der Unsicherheit durch konservative Vereinfachung
- Begründeter Ausschluss von mit einer spezifischen Unsicherheit behafteten Ereignissen oder Prozessen
- Ersatz durch eine anerkannte Konvention (z.B. eine Referenzperson mit definiertem Verhalten)

Unsicherheiten sind zu benennen und der Umgang damit zu begründen. Wesentlich ist auch die Feststellung, welchen Einfluss eine Unsicherheit auf das Ergebnis der Sicherheitsanalyse hat. Unsicherheiten, die nicht als irrelevant bezeichnet werden können, sollten vermieden oder soweit durchführbar reduziert werden. Verbleibende Unsicherheiten mit Einfluss auf das Ergebnis der Sicherheitsanalyse sollten in ihrer Bandbreite diskutiert und analysiert werden. In diesem Zusammenhang werden auch qualitätssichernde Maßnahmen und unabhängige Reviews zur Vermeidung und Behebung von Fehlern empfohlen.

Andra's bisherigen Sicherheitsanalysen wird seitens IEER (/IEER 11/) die Kritik entgegengebracht, dass die bis dato durchgeführten Sensitivitätsanalysen in der betrachteten Parameterbandbreite gegenüber der tatsächlich Bandbreite der vorhandenen Messwerte eingeschränkt sind, und dass bis dato noch keine probabilistische Analyse unter Berücksichtigung aller Daten vorgelegt wurde. IEER rät dringend dazu dies nachzuholen. Insbesondere im Hinblick auf die ohnehin notwendige Konkretisierung der Sicherheitsanalysen auf den eigentlichen Standortbereich des CIGÉO ist diese Empfehlung des IEER unterstützenswert.

3. Strahlenexposition der Bevölkerung der Auftraggeberländer durch die Abgabe von Radionukliden mit der Fortluft des Endlagers im Normalbetrieb

Im Normalbetrieb des Endlagers ist die Strahlenexposition in der Umgebung im Wesentlichen auf Direktstrahlung beim Antransport von Gebinden mit radioaktiven Abfällen sowie bei der oberirdischen Lagerung auf dem Betriebsgelände zurückzuführen. Diese Direktstrahlung ist aber nur in unmittelbarer Nähe des Anlagengeländes relevant. Für die hier zu betrachtenden möglichen Auswirkungen auf Rheinland-Pfalz, das Saarland und das Großherzogtum Luxemburg ist die Direktstrahlung daher irrelevant.

Durch den Betrieb des Endlagers sollen gemäß /Andra 13/²¹ keine radioaktiven Abwässer in einen dortigen Vorfluter abgegeben werden. Im Hinblick auf die Strahlenexposition im Normalbetrieb des Endlagers CIGÉO von Personen in Rheinland-Pfalz, dem Saarland und dem Großherzogtum Luxemburg sind hier daher nur Freisetzungen in die Umgebungsluft zu betrachten, die gemäß /Andra 13/ in geringem Umfang erwartet werden.

3.1. Freisetzungen radioaktiver Stoffe im Normalbetrieb des Endlagers

Die im Endlager angelieferten Abfallgebinde sind für die Endlagerung konditioniert und verpackt. Bei vielen Behältertypen sind Freisetzungen von Radionukliden aus dem Innern auszuschließen, sofern es nicht zu Stör- und Unfällen kommt. Die Mobilisierung von möglichen Oberflächenkontaminationen führt nach bisherigen Erfahrungen mit zwischengelagerten Abfällen ebenfalls zu keinen hier relevanten Einträgen in die Fortluft. Andra nennt in /Andra 13/ als wesentlichen Beitrag für die Freisetzung in die Umgebung gasförmige Radionuklide (Kohlenstoff-14, Tritium, Krypton-85 etc.), die aus bestimmten Abfallgebinden diffundieren können. Dabei handelt es sich um die Abfälle der Kategorie MA-VL (déchets de moyenne activité à vie longue, langlebige mittelradioaktiver Abfälle).

Die gasförmigen Radionuklide sollen in kanalisierten Luftströmen gemessen und bilanziert werden, bevor sie in die Umgebungsluft abgegeben werden. Andra weist darauf hin, dass für diese Ableitungen Grenzwerte in der zukünftigen Genehmigung festgelegt werden sollen, deren Einhaltung zu überwachen ist. In welcher Höhe diese Grenzwerte beantragt werden sollen, wird nicht angegeben. Auch zur erwarteten Höhe der tatsächlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe werden keine Angaben gemacht. Es wird lediglich ausgeführt, dass nach einer ersten Abschätzung auf der Basis ungünstiger Annahmen unmittelbar am Endlager CIGÉO eine Dosis in der Größenordnung von 0,01 mSv im Jahr möglich wäre. Diese Dosis läge deutlich unterhalb des französischen Dosisgrenzwerts für die Bevölkerung von 1 mSv im Jahr.

3.2. Mögliche Strahlenexposition in den Auftraggeberländern

Zur Abschätzung möglicher Strahlenexpositionen werden üblicherweise konkrete nuklidspezifische Aktivitätswerte, die Freisetzungshöhe über Grund sowie die standortspezifischen meteorologischen und erforderlichenfalls auch orographischen Verhältnisse herangezogen. Zur Abschätzung möglicher Strahlenexpositionen von Personen in Rheinland-Pfalz, dem Saarland und dem Groß-

²¹ Andra 13, p. 60

herzogtum Luxemburg ist dies hier nicht möglich, da entsprechende Angaben fehlen. Es ist aber möglich abzuschätzen, in welchem Maße eine Vermischung mit der Umgebungsluft auf dem Weg vom Endlager CIGÉO bis zur Grenze von Rheinland-Pfalz, dem Saarland und dem Großherzogtum Luxemburg mindestens zu unterstellen ist. Daraus ist dann zu erkennen, wie weit die von Andra genannte Dosis von 0,01 mSv im Jahr noch unterschritten würde.

Konservativ wird bei dieser Abschätzung angenommen, dass keine Abreicherung während des atmosphärischen Transports stattfindet. Für Krypton-85 ist diese Annahme auch angemessen; da von Andra nicht angegeben wird, welcher Anteil der abgeschätzten Dosis auf welches Radionuklid zurückgeht, ist dies hier die geeignete Vorgehensweise.

Die Abschätzung erfolgt hier in Anlehnung an die Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 Strahlenschutzverordnung /AVV 12/. Es werden folgende Annahmen bei der Berechnung anhand des Gauss-Modells der Ausbreitungsrechnung nach /AVV 12/ getroffen:

- Auf dem gesamten Weg des atmosphärischen Transports liegt eine mittlere Luftturbulenz vor (Diffusionskategorie D). Solche Verhältnisse können auch über eine Distanz von 160 km vorliegen, was bei den anderen Diffusionskategorien eher unwahrscheinlich ist. Außerdem kommt es bei dieser Diffusionskategorie zu einer relativ geringen Verbreiterung der Fahne quer zur Ausbreitungsrichtung. Eine mittlere Luftturbulenz führt daher zu relativ hohen Konzentrationen auch über längere Transportwege.
- Es wird von keinen Änderungen der Windrichtung auf dem atmosphärischen Transportweg ausgegangen. Übliche Änderungen der Windrichtung würden die maximale Konzentration an Orten in großer Entfernung reduzieren, so dass diese Annahme sehr konservativ ist.
- Es kann davon ausgegangen werden, dass die Freisetzung am Endlager über einen Fortluftkamin erfolgt. Dessen (bisher nicht festgelegte) Höhe wird variiert (50 m, 75 m und 100 m).
- Als Aufpunkte werden die geringsten Entfernungen von Rheinland-Pfalz (160 km), dem Saarland (120 km) und dem Großherzogtum Luxemburg (110 km) gewählt.

Da hier nur die Konzentrationen abgeleiteter Radionuklide in der Umgebungsluft an der ungünstigsten Einwirkungsstelle, die bei den gewählten Kaminhöhen zwischen 330 m und 930 m vom Kamin entfernt liegt, mit denen an der Grenze zu Rheinland-Pfalz, dem Saarland und dem Großherzogtum Luxemburg verglichen werden soll, ist die Höhe der Windgeschwindigkeit ohne Bedeutung²². Die Konzentration an der ungünstigsten Einwirkungsstelle wird auf 1 normiert (siehe Tabelle 3.1).

²² Die Konzentration ist gemäß der Modellierung nach /AVV 12/ umgekehrt proportional zur Windgeschwindigkeit; eine Abhängigkeit von der Quelledistanz besteht nicht.

Tabelle 3.1: Verhältnis der Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft der Auftraggeberländer gegenüber der näheren Umgebung der Anlage CIGÉO

Kaminhöhe [m]	Normierte Konzentration [-]			
	Ungünstigste Einwirkungsstelle	110 km (Luxemburg)	120 km (Saarland)	160 km (Rheinland-Pfalz)
50	1	0,0012	0,0011	0,00091
75	1	0,0026	0,0025	0,0020
100	1	0,0048	0,0044	0,0035

Je nach angenommener Kaminhöhe sind die in Tabelle 3.1 aufgeführten Konzentrationen an der Grenze zum Großherzogtum Luxemburg um etwa einen Faktor 200 bis 1000 geringer als in der Nähe des Endlagers. An der Grenze zum Saarland und zu Rheinland-Pfalz sind die Konzentrationen noch etwas niedriger.

Wird am Endlager CIGÉO eine Dosis von 0,01 mSv im Jahr unterschritten, so könnte die Dosis auch unter den sehr konservativen Annahmen bei der Abschätzung an den Grenzen zum Großherzogtum Luxemburg, zum Saarland und zu Rheinland-Pfalz nur eine Dosis von 0,0000091 mSv bis 0,000048 mSv im Jahr erreichen.

Die genauen Randbedingungen der Dosisabschätzung in /Andra 13/ sind nicht bekannt, insbesondere nicht das Alter der betrachteten Person und ihre Lebensgewohnheiten (Aufenthaltsdauer im Freien und Verzehr kontaminierter Lebensmittel). Insofern bleibt offen, ob eine Berechnung der Strahlenexposition mit der im deutschen Strahlenschutzrecht vorgegebenen Methode /AVV 12/, ausgehend von einem nuklidspezifischen Quellterm, als höchste Dosis die oben genannten Werte ergeben würde. Die abgeschätzte Dosis ist aber so gering, dass in den Auftraggeberländern trotz dieser Unsicherheit nur von einer vernachlässigbaren Dosis durch die normalbetrieblichen Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Fortluft des Endlagers CIGÉO ausgegangen werden kann.

4. Risiken für die Bevölkerung der Auftraggeberländer durch Transporte

4.1. Transporte und Transportrouten zum Endlager CIGÉO

Nach heutigem Planungsstand sollen im Zeitraum 2030 bis 2040 von Areva, CEA und EDF jährlich etwa 700 bis 900 Behälter angeliefert werden²³. Der Transport soll vorrangig auf der Schiene erfolgen. Dies bedeutet maximal etwa einhundert Züge mit etwa 10 Wagen pro Zug im Jahr. Transporte von Abfallgebinden vom CEA-Standort Valduc (Côte-d'Or), die nur in sehr begrenzter Menge anfallen, sollen auf der Straße erfolgen. Eine Abbildung in /Andra 13/ zeigt die Hauptverkehrsströme, die von der Normandie (La Hague/Valognes) zum Endlager CIGÉO und vom Süden (Cadarache, Marcoule, Bugey) durch das Rhône-Tal zum Endlager fließen. Am nächsten zu den Grenzen zum Großherzogtum Luxemburg, zum Saarland und zu Rheinland-Pfalz verläuft die Verbindung von der Normandie her. Auf den in /Andra 13/ skizzierten Transportwegen kommen diese den genannten Landesgrenzen aber nicht näher als das Endlager CIGÉO selbst. Als Mindestentfernung von Transporten können also die bereits in Kapitel 3.2 genannten Entfernungen angenommen werden: 110 km bis zur Grenze des Großherzogtums Luxemburg, 120 km bis zur Grenze des Saarlands und 160 km bis zur Grenze von Rheinland-Pfalz.

Für Transporte gelten internationale Standards (IAEA-Transportvorschriften, ADR für den Transport auf der Straße und RID für den Transport auf der Schiene). Daraus ergeben sich zum einen Anforderungen an die Verpackungen, die bestimmten Einwirkungen standhalten müssen. Zum anderen sind Dosisleistungen und Kontaminationen begrenzt. Insbesondere ist in 2 m Abstand die Dosisleistung auf 0,1 mSv pro Stunde begrenzt.

Zu den verschiedenen Arten von Abfällen werden in /Andra 10/²⁴ Angaben u. a. zu erwarteter Anzahl an Gebinden und Gesamtaktivitätsgehalten gemacht. Die Abfälle lassen sich grob in drei Kategorien unterteilen:

- verglaste hochradioaktive Abfälle,
- bestrahlter Brennstoff aus Forschungsreaktoren,
- mittelradioaktiver Abfall mit langlebigen Radionukliden (überwiegend aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente, teils zementiert/kompaktiert, teils bituminierte Schlämme).

4.2. Abschätzung von transportbedingten radiologischen Risiken in den Auftraggeberländern

Die von transportierten Abfallgebinden ausgehende Direktstrahlung ist so begrenzt (siehe Kapitel 4.1), dass sich durch diese keine Strahlenrisiken in den Auftraggeberländern ergeben. Dies gilt ebenfalls für einen Transport ohne schwerwiegende Unfälle, da dann keine nennenswerten Freisetzungen von radioaktiven Stoffen aus Gebinden oder aufgrund abgelöster oberflächlicher Kontaminationen erfolgen.

²³ Andra 13, p. 47

²⁴ Andra 10, p. 60ff

Bei schweren Unfällen können aus den Abfallgebinden radioaktive Stoffe in die Umgebungsluft freigesetzt werden. Als abdeckender Fall wird nachfolgend von einem Szenario ausgegangen, bei dem es zu einer mechanischen und thermischen Einwirkung auf Gebinde mit bituminiertem mittel-radioaktivem Abfall kommt. Gemäß den international gültigen Regeln sind die Gebinde gegen ein weites Spektrum von möglichen Unfällen geschützt (Auslegung im Hinblick auf einen freien Fall auf eine feste Unterlage und eine Brandeinwirkung). In Extremsituationen können aber auch stärkere Einwirkungen auftreten, beispielsweise bei einer Kollision eines Zuges mit einem anderen Zug, der brennbare Stoffe transportiert, die zu höheren Temperaturen und längeren Bränden führen, als dies der Verpackungsauslegung mit 30 Minuten und 800 °C zugrunde liegt.

Im Hinblick auf ein extremes Transportunfallszenario können die bituminierten Abfälle als ungünstig angesehen werden, da die Abfallmatrix nach entsprechender Einwirkung schmelzen und brennen kann. Dies ist bei zementierten Abfällen, verglasten Abfällen oder aktivierten Metallen nicht der Fall. Als maximales Gesamtinventar eines bituminierten Gebindes im Jahr 2015 werden in /Andra 10/²⁵ $1,5 \cdot 10^{12}$ Bq angegeben. Wenn es sich um Schlämme aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente handelt, kann der folgende ungünstige Nuklidvektor für eine Dosisabschätzung angenommen werden:

- Cäsium-137: 45% (entsprechend $7,2 \cdot 10^{11}$ Bq),
- Alpha-Plutonium²⁶: 5% (entsprechend $8 \cdot 10^{10}$ Bq),
- Plutonium-241: 45% (entsprechend $7,2 \cdot 10^{11}$ Bq),
- Americium-241: 5% (entsprechend $8 \cdot 10^{10}$ Bq).

Um zu einer Einschätzung von maximal möglichen Auswirkungen durch Transportunfälle auf Rheinland-Pfalz, das Saarland und das Großherzogtum Luxemburg zu kommen, wird nachfolgend angenommen, dass bei einem Transportunfall eine Menge an radioaktiven Stoffen in die Umgebungsluft freigesetzt wird, die dem Gesamtinventar eines oben genannten Gebindes entspricht. Da von keiner vollständigen Freisetzung des Inventars auszugehen wäre, ist damit auch der Fall abgedeckt, dass mehrere solcher Gebinde bei einem Unfall massiv betroffen sind. Der atmosphärische Transport soll direkt zu den entsprechenden Landesgrenzen erfolgen. Die Berechnung von möglichen Strahlenexpositionen und Kontaminationen erfolgt anhand der Störfallberechnungsgrundlagen /SSK 03/. Für die Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung wurde die Diffusionskategorie D angenommen (zur Begründung siehe Kapitel 3.2) sowie eine effektive Freisetzungshöhe von 100 m aufgrund der durch den Brand bedingten Thermik.

Es werden nachfolgend drei unterschiedliche meteorologische Randbedingungen betrachtet, um ein breites Spektrum möglicher Szenarien abzudecken:

- Es kommt zu keinen Niederschlägen während des atmosphärischen Transports (Szenario „trocken“),
- es regnet flächendeckend mit einer Niederschlagsintensität von 0,5 mm/h (Szenario „Regen“),

²⁵ Andra 10, p. 62

²⁶ Darunter wird hier die Summe von Pu-238, Pu-239 und Pu-240 verstanden; für die radiologischen Abschätzungen wird repräsentativ von Pu-239 ausgegangen.

- es regnet nur am jeweils betrachteten Aufpunkt, dort mit einer Niederschlagsintensität von 5 mm/h (Szenario „Regen nur auf Aufpunkt“).

Meteorologisches Szenario „trocken“

Für die einzelnen Szenarien wird die effektive Dosis der Referenzpersonen nach /SSK 03/ (sechs Altersgruppen) durch Inhalation und durch Gamma-Bodenstrahlung im ersten Jahr nach dem Unfall berechnet. Es wird dabei konservativ – wie in /SSK 03/ - von einem ganzjährigen Aufenthalt im Freien ausgegangen. Außerdem werden die Kontaminationen von Lebensmitteln – Blattgemüse, sonstige pflanzliche Lebensmittel, Milch/Milchprodukte und Fleisch/Fleischprodukte – berechnet, um diese mit den EU-Höchstwerten vergleichen und die Vermarktbarkeit beurteilen zu können.

In Tabelle 4.1 sind die Ergebnisse der Abschätzung der Strahlenexposition für das Szenario „trocken“ aufgeführt. Tabelle 4.2 zeigt die abgeschätzten Kontaminationen von Lebensmitteln für dieses Szenario.

Tabelle 4.1: Abgeschätzte transportunfallbedingte effektive Dosis in den Auftraggeberländern (in mSv effektive Dosis im ersten Jahr) im Szenario „trocken“

Expositionspfad	Aufpunkt		
	110 km (Luxemburg)	120 km (Saarland)	160 km (Rheinland-Pfalz)
Altersgruppe ≤ 1 Jahr			
Inhalation	0,049	0,046	0,036
Gamma-Bodenstrahlung	0,00083	0,00077	0,00060
Summe	0,050	0,046	0,036
Altersgruppe > 1 bis ≤ 2 Jahre			
Inhalation	0,082	0,076	0,059
Gamma-Bodenstrahlung	0,00078	0,00072	0,00059
Summe	0,083	0,077	0,060
Altersgruppe > 2 bis ≤ 7 Jahre			
Inhalation	0,10	0,095	0,074
Gamma-Bodenstrahlung	0,00068	0,00063	0,00049
Summe	0,10	0,096	0,074
Altersgruppe > 7 bis ≤ 12 Jahre			
Inhalation	0,15	0,14	0,10
Gamma-Bodenstrahlung	0,00062	0,00058	0,00045
Summe	0,15	0,14	0,10
Altersgruppe > 12 bis ≤ 17 Jahre			
Inhalation	0,17	0,16	0,12
Gamma-Bodenstrahlung	0,00057	0,00053	0,00041
Summe	0,17	0,16	0,12
Altersgruppe > 17 Jahre			
Inhalation	0,21	0,19	0,15
Gamma-Bodenstrahlung	0,00052	0,00048	0,00038
Summe	0,21	0,19	0,15

Höchstexponierte Altersgruppe sind die Erwachsenen. Die Gesamtdosis wird von der Dosis durch Inhalation bestimmt, während die Gamma-Bodenstrahlung kaum zur Gesamtdosis beiträgt. Die Gamma-Bodenstrahlung rührt von Cäsium-137 her, die Inhalationsdosis wird durch alphastrahlende Plutoniumisotope und Americium-241 dominiert. Trotz der extrem ungünstigen Annahmen ergibt sich eine Dosis von deutlich weniger als 1 mSv im ersten Jahr. Insbesondere Maßnahmen des Katastrophenschutzes werden nicht erforderlich.

Tabelle 4.2: Abgeschätzte transportunfallbedingte Lebensmittelkontamination in den Auf-traggeberländern (in Bq/kg Feuchtmasse, erste Ernte) im Szenario „trocken“

Expositions-pfad	Aufpunkt		
	110 km (Luxem-burg)	120 km (Saarland)	160 km (Rheinland-Pfalz)
Blattgemüse			
Cs-137	20	18	14
Pu-239	2,2	2,0	1,6
Pu-241	20	18	14
Am-241	2,2	2,0	1,6
Sonstige pflanzliche Lebensmittel			
Cs-137	13	12	9,4
Pu-239	1,4	1,3	1,0
Pu-241	13	12	9,4
Am-241	1,4	1,3	1,0
Milch/Milchprodukte			
Cs-137	12	11	8,6
Pu-239	0,000027	0,000025	0,000019
Pu-241	0,00024	0,00022	0,00017
Am-241	0,0053	0,0049	0,0038
Fleisch/Fleischprodukte			
Cs-137	72	67	52
Pu-239	0,080	0,074	0,058
Pu-241	0,72	0,67	0,52
Am-241	0,13	0,12	0,096

In der Verordnung (EURATOM) Nr. 3954/87 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation vom 22. Dezember 1987 sind als Höchstwerte, bis zu denen eine Vermarktung erfolgen darf, unter anderem genannt:

- Für alphastrahlende Plutoniumisotope
 - 20 Bq/kg in Milcherzeugnissen und
 - 80 Bq/kg in anderen Lebensmitteln außer solchen von geringer Bedeutung
- für Cäsium-137 und Plutonium-241
 - 1.000 Bq/kg in Milcherzeugnissen und
 - 1.250 Bq/kg in anderen Lebensmitteln außer solchen von geringer Bedeutung

Im Szenario „trocken“ werden diese Höchstwerte deutlich unterschritten.

Meteorologisches Szenario „Regen“

Im Szenario „Regen“ wird von einem flächendeckenden Niederschlag der Intensität 0,5 mm/h während des gesamten atmosphärischen Transports bis zur jeweils betrachteten Landesgrenze ausgegangen. Die Kontamination der Luft ist dann durch die vorherige Auswaschung deutlich reduziert, die relative Ablagerung auf Boden und Pflanzen durch den Washout aber jeweils erhöht. Die für die Landesgrenzen ermittelten Strahlenexpositionen zeigt Tabelle 4.3, die Lebensmittelkontaminationen Tabelle 4.4.

Tabelle 4.3: Abgeschätzte transportunfallbedingte effektive Dosis in den Auftraggeberländern (in mSv effektive Dosis im ersten Jahr) im Szenario „Regen“

Expositions-pfad	Aufpunkt		
	110 km (Luxem-burg)	120 km (Saarland)	160 km (Rheinland-Pfalz)
Altersgruppe ≤ 1 Jahr			
Inhalation	0,0048	0,0036	0,0012
Gamma-Bodenstrahlung	0,0023	0,0017	0,00058
Summe	0,0071	0,0054	0,0018
Altersgruppe > 1 bis ≤ 2 Jahre			
Inhalation	0,0081	0,0061	0,0020
Gamma-Bodenstrahlung	0,0022	0,0016	0,00054
Summe	0,010	0,0077	0,0026
Altersgruppe > 2 bis ≤ 7 Jahre			
Inhalation	0,010	0,0075	0,0025
Gamma-Bodenstrahlung	0,0019	0,0014	0,00047
Summe	0,012	0,0089	0,0030
Altersgruppe > 7 bis ≤ 12 Jahre			
Inhalation	0,014	0,011	0,0036
Gamma-Bodenstrahlung	0,0017	0,0013	0,00043
Summe	0,016	0,012	0,0040
Altersgruppe > 12 bis ≤ 17 Jahre			
Inhalation	0,017	0,012	0,0042
Gamma-Bodenstrahlung	0,0016	0,0012	0,00040
Summe	0,018	0,014	0,0046
Altersgruppe > 17 Jahre			
Inhalation	0,020	0,015	0,0052
Gamma-Bodenstrahlung	0,0014	0,0011	0,00036
Summe	0,022	0,016	0,0055

Höchstexponierte Altersgruppe sind auch in diesem Szenario die Erwachsenen. Die Gesamtdosis wird von der Dosis durch Inhalation bestimmt, die gegenüber dem Szenario „trocken“ um etwa eine Größenordnung geringer ist. Die Dosis durch Gamma-Bodenstrahlung ist zwar höher als im Szenario „trocken“, die Gesamtdosis aber wegen der geringen Bedeutung der Gamma-

Bodenstrahlung dennoch um etwa eine Größenordnung geringer. Die effektive Gesamtdosis ist deutlich kleiner als 0,1 mSv im Jahr.

Tabelle 4.4: Abgeschätzte transportunfallbedingte Lebensmittelkontamination in den Auftrageberländern (in Bq/kg Feuchtmasse, erste Ernte) im Szenario „Regen“

Expositionsprofil	Aufpunkt		
	110 km (Luxemburg)	120 km (Saarland)	160 km (Rheinland-Pfalz)
Blattgemüse			
Cs-137	18	13	4,4
Pu-239	2,0	1,5	0,49
Pu-241	18	13	4,4
Am-241	2,0	1,5	0,49
Sonstige pflanzliche Lebensmittel			
Cs-137	12	8,8	2,9
Pu-239	1,3	0,98	0,33
Pu-241	12	8,8	2,9
Am-241	1,3	0,98	0,33
Milch/Milchprodukte			
Cs-137	11	8,1	2,7
Pu-239	0,000024	0,000018	0,0000060
Pu-241	0,00021	0,00016	0,000054
Am-241	0,0048	0,0036	0,0012
Fleisch/Fleischprodukte			
Cs-137	64	48	16
Pu-239	0,072	0,054	0,018
Pu-241	0,64	0,48	0,16
Am-241	0,12	0,090	0,030

Die Lebensmittelkontaminationen sind im Szenario „Regen“ geringer als im Szenario „trocken“, so dass auch in diesem meteorologischen Szenario die EU-Höchstwerte für Nahrungsmittel deutlich unterschritten werden. Die Modellierung ergibt im Szenario „Regen“ höhere Dosen durch Gamma-Bodenstrahlung aber eine geringere Kontamination von Nahrungsmitteln. Dies ist dadurch bedingt, dass zur Bodenstrahlung die gesamte auf dem Boden abgelagerte Aktivität beiträgt. Bei der Ablagerung auf Pflanzenoberflächen wird bei Washout nach /AVV 12/ unterstellt, dass nur ein Anteil von 30% auf den Pflanzenoberflächen haften bleibt. Bei Fallout beträgt dieser Anteil 100%.

Meteorologisches Szenario „Regen nur am Aufpunkt“

Kommt es im Szenario „Regen nur am Aufpunkt“ nur lokal in den interessierenden Ländern zu starkem Niederschlag (5 mm/h), so stellt dies die ungünstigste Situation dar, da die vorherige Auswaschung der radioaktiven Wolke des Szenarios „Regen“ entfällt. Dieses Szenario ist aber auch weniger wahrscheinlich als die beiden anderen Szenarien. Die für die Landesgrenzen ermittelten Strahlenexpositionen des Szenarios „Regen nur am Aufpunkt“ zeigt Tabelle 4.5, die Lebensmittelkontaminationen Tabelle 4.6.

Tabelle 4.5: Abgeschätzte transportunfallbedingte effektive Dosis in den Auftraggeberländern (in mSv effektive Dosis im ersten Jahr) im Szenario „Regen nur am Aufpunkt“

Expositionspfad	Aufpunkt		
	110 km (Luxemburg)	120 km (Saarland)	160 km (Rheinland-Pfalz)
Altersgruppe ≤ 1 Jahr			
Inhalation	0,049	0,046	0,036
Gamma-Bodenstrahlung	0,14	0,13	0,10
Summe	0,19	0,18	0,14
Altersgruppe > 1 bis ≤ 2 Jahre			
Inhalation	0,082	0,076	0,059
Gamma-Bodenstrahlung	0,13	0,12	0,097
Summe	0,22	0,20	0,16
Altersgruppe > 2 bis ≤ 7 Jahre			
Inhalation	0,10	0,095	0,074
Gamma-Bodenstrahlung	0,12	0,11	0,084
Summe	0,22	0,20	0,16
Altersgruppe > 7 bis ≤ 12 Jahre			
Inhalation	0,15	0,14	0,11
Gamma-Bodenstrahlung	0,11	0,099	0,077
Summe	0,25	0,24	0,18
Altersgruppe > 12 bis ≤ 17 Jahre			
Inhalation	0,17	0,16	0,12
Gamma-Bodenstrahlung	0,098	0,083	0,064
Summe	0,27	0,25	0,19
Altersgruppe > 17 Jahre			
Inhalation	0,21	0,19	0,15
Gamma-Bodenstrahlung	0,089	0,083	0,064
Summe	0,30	0,28	0,22

Die höchsten effektiven Dosen ergeben sich auch im Szenario „Regen nur am Aufpunkt“ für Erwachsene. Die Inhalationsdosis verändert sich gegenüber dem Szenario „trocken“ nicht, da auf dem atmosphärischen Transportweg in beiden Fällen nur Fallout erfolgt. Die Dosis durch Gamma-Bodenstrahlung nimmt dagegen über zwei Größenordnungen gegenüber dem Szenario mit flächendeckendem Regen zu. Es ergibt sich in diesem Szenario auch die höchste Gesamtdosis der drei meteorologischen Szenarien. Auch im Szenario „Regen nur am Aufpunkt“ ist die Gesamtdosis aber deutlich kleiner als 1 mSv. Dabei ist bei der Bewertung auch zum einen die geringe Wahrscheinlichkeit und zum anderen die geringere Zahl betroffener Personen zu berücksichtigen, denn ein solches Szenario kann immer nur kleinräumig auftreten.

Tabelle 4.6: Abgeschätzte transportunfallbedingte Lebensmittelkontamination in den Auftraggeberländern (in Bq/kg Feuchtmasse, erste Ernte) im Szenario „Regen nur am Aufpunkt“

Expositionsprofil	Aufpunkt		
	110 km (Luxemburg)	120 km (Saarland)	160 km (Rheinland-Pfalz)
Blattgemüse			
Cs-137	1.000	950	740
Pu-239	110	100	82
Pu-241	1.000	950	740
Am-241	110	100	82
Sonstige pflanzliche Lebensmittel			
Cs-137	680	630	490
Pu-239	76	70	55
Pu-241	680	630	490
Am-241	76	70	55
Milch/Milchprodukte			
Cs-137	630	580	450
Pu-239	0,0014	0,0013	0,0010
Pu-241	0,012	0,012	0,0090
Am-241	0,28	0,26	0,20
Fleisch/Fleischprodukte			
Cs-137	3.800	3.500	2.700
Pu-239	4,2	3,9	3,0
Pu-241	38	35	27
Am-241	7,0	6,4	5,0

Die Lebensmittelkontamination ist im Szenario „Regen nur am Aufpunkt“ naturgemäß am höchsten. Die EU-Höchstwerte werden in folgenden Fällen überschritten:

- bei Blattgemüse durch Plutonium-239 und Americium-241 (an der Grenze zu allen drei Auftraggeberländern),
- bei Fleisch und Fleischprodukten durch die Cäsium-137 (an der Grenze zu allen drei Auftraggeberländern).

Bei sonstigen pflanzlichen Produkten sowie Milch und Milchprodukten kommt es auch in diesem Szenario dagegen zu keinen Überschreitungen der EU-Höchstwerte.

Da es sich bei diesem Szenario um ein kleinräumiges Ereignis handelt, wären nur sehr begrenzte Mengen an Lebensmittel nach den EU-Höchstwerten nicht mehr vermarktbar. Da nur die direkte Ablagerung auf Pflanzenoberflächen, nicht aber ein längerfristiger Wurzeltransfer von kontaminiertem Boden in die Pflanzen, zur Überschreitung von EU-Höchstwerten führt, ist eine solche Überschreitung auch nur möglich, wenn zum Unfallzeitpunkt Blattgemüse erntereif ist oder Vieh auf der Weide steht (und nicht rechtzeitig mit unkontaminiertem oder Lagerfutter versorgt wird).

5. Risiken für die Bevölkerung der Auftraggeberländer durch Störfälle

Seitens der Andra liegen keine Angaben dazu vor, welche Störfälle der Auslegung des Endlagers CIGÉO zugrunde gelegt werden sollen. Üblicherweise wäre dies ein Spektrum, das über- und untertägige Störfälle umfasst, insbesondere

- Handhabungsstörfälle (Behälterabsturz, Fahrzeugunfälle),
- Brände und Explosionen,
- natürliche äußere Einwirkungen, z. B. Erdbeben.

Ob eine dem international üblichen Standard entsprechende Auslegung erfolgt, kann daher zurzeit nicht beurteilt werden. Aus den Ergebnissen des Kapitels 4 lassen sich aber Schlussfolgerungen auch für Störfälle im Endlager ziehen.

Bei Störfällen beim Umgang mit Abfallgebinden im Endlager sind die größten Freisetzungen radioaktiver Stoffe bei gleichzeitigen mechanischen und thermischen Einwirkungen zu erwarten, beispielsweise bei Unfällen während des Transports auf dem Gelände oder untertägig. Durch die gegenüber dem Transport zum Endlager hin deutlich geringeren Fahrzeuggeschwindigkeiten und der fehlenden Möglichkeit einer großen in einen Transportunfall verwickelten Brandlast wären mögliche Freisetzungen aus Gebinden bei solchen Transportunfällen deutlich geringer als die in Kapitel 4 unterstellten Freisetzungen. Es kann von höchstens 1 % der in Kapitel 4 angesetzten Freisetzungen an radioaktiven Stoffen ausgegangen werden.

Dies wäre dann eine Freisetzung von $7,2 \cdot 10^9$ Bq Cäsium-137, $8 \cdot 10^8$ Bq Alpha-Plutonium, $7,2 \cdot 10^9$ Bq Plutonium-241 und $8 \cdot 10^8$ Bq Americium-241. In Tabelle 5.1 sind die abgeschätzten effektiven Dosen in den Auftraggeberländern im ersten Jahr für die höchstexponierte Altersgruppe (Erwachsene) aufgelistet. Die abgeschätzten Kontaminationen von Lebensmitteln zeigt Tabelle 5.2.

Tabelle 5.1: Abgeschätzte effektive Dosis in den Auftraggeberländern (in mSv effektive Dosis im ersten Jahr) bei Störfällen am Endlager

Meteorologisches Szenario	Aufpunkt		
	110 km (Luxemburg)	120 km (Saarland)	160 km (Rheinland-Pfalz)
trocken	0,0021	0,0019	0,0015
Regen	0,00022	0,00016	0,000055
Regen nur am Aufpunkt	0,0030	0,0028	0,0022

Die abgeschätzten effektiven Dosen sind sehr niedrig und liegen mit maximal 0,003 mSv weit unterhalb von 1 mSv im Jahr.

Tabelle 5.2: Abgeschätzte Lebensmittelkontaminationen in den Auftraggeberländern (in Bq/kg, Feuchtmasse) bei Störfällen am Endlager

Meteorologisches Szenario	Nuklid	Aufpunkt		
		110 km (Luxemburg)	120 km (Saarland)	160 km (Rheinland-Pfalz)
Blattgemüse				
trocken	Cs-137	0,20	0,18	0,14
	Pu-239	0,022	0,020	0,016
	Pu-241	0,20	0,18	0,14
	Am-241	0,022	0,020	0,016
Regen	Cs-137	0,18	0,13	0,044
	Pu-239	0,020	0,015	0,0049
	Pu-241	0,18	0,13	0,044
	Am-241	0,020	0,015	0,0049
Regen nur am Aufpunkt	Cs-137	10	9,5	7,4
	Pu-239	1,1	1,0	0,82
	Pu-241	10	9,5	7,4
	Am-241	1,1	1,0	0,82
Sonstige pflanzliche Lebensmittel				
trocken	Cs-137	0,13	0,12	0,094
	Pu-239	0,014	0,013	0,0010
	Pu-241	0,13	0,12	0,094
	Am-241	0,014	0,013	0,0010
Regen	Cs-137	0,12	0,088	0,029
	Pu-239	0,013	0,0098	0,0033
	Pu-241	0,12	0,088	0,029
	Am-241	0,013	0,0098	0,0033
Regen nur am Aufpunkt	Cs-137	6,8	6,3	4,9
	Pu-239	0,76	0,70	0,55
	Pu-241	6,8	6,3	4,9
	Am-241	0,76	0,70	0,55
Milch/Milchprodukte				
trocken	Cs-137	0,12	0,11	0,086
	Pu-239	0,0000027	0,0000025	0,0000019
	Pu-241	0,0000024	0,0000022	0,0000017
	Am-241	0,000053	0,000049	0,000038
Regen	Cs-137	0,11	0,081	0,027
	Pu-239	0,0000024	0,0000018	0,00000060
	Pu-241	0,0000021	0,0000016	0,00000054
	Am-241	0,000048	0,000036	0,000012
Regen nur am Aufpunkt	Cs-137	6,3	5,8	4,5
	Pu-239	0,000014	0,000013	0,000010
	Pu-241	0,00012	0,00012	0,000090
	Am-241	0,0028	0,0026	0,0020

Fortsetzung Tabelle 5.2

Meteorologisches Szenario	Nuklid	Aufpunkt		
		110 km (Luxemburg)	120 km (Saarland)	160 km (Rheinland-Pfalz)
Fleisch/Fleischprodukte				
trocken	Cs-137	0,72	0,67	0,52
	Pu-239	0,00080	0,00074	0,00058
	Pu-241	0,0072	0,0067	0,0052
	Am-241	0,0013	0,0012	0,00096
Regen	Cs-137	0,64	0,48	0,16
	Pu-239	0,00072	0,00054	0,00018
	Pu-241	0,0064	0,0048	0,0016
	Am-241	0,0012	0,00090	0,00030
Regen nur am Aufpunkt	Cs-137	38	35	27
	Pu-239	0,042	0,039	0,030
	Pu-241	0,38	0,35	0,27
	Am-241	0,070	0,064	0,050

Die abgeschätzten Lebensmittelkontaminationen liegen stets weit unterhalb der EU-Höchstwerte, so dass hinsichtlich der Vermarktbarkeit in dieser Hinsicht keine Einschränkungen zu erwarten sind.

6. Betroffenheit des Grundwasserpfads in den Auftraggeberländern (Langzeitsicherheit)

6.1. Allgemeine geologische und hydrogeologische Situation im Hinblick auf grenzüberschreitende Transportpfade

Die seitens Andra dokumentierten Untersuchungen hinsichtlich der hydrogeologischen Eigenschaften der am Standort anzutreffenden Gesteine können in dem hier vorgegebenen Rahmen zur Kenntnis genommen, aber nicht im Detail kommentiert werden. Gleiches gilt für die ausführliche Diskussion des Themas und seine Unsicherheiten in /IEER 2011/. Im Hinblick auf die Frage nach der Betroffenheit der Nachbarländer sind die nachfolgend diskutierten grundlegenden Eigenschaften relevant.

6.1.1. Geologie und Hydrogeologie

Das Pariser Becken, in dessen Nordosten der Standort des geplanten Endlagervorhabens liegt, ist eine geologische Großstruktur, die fast den gesamten Norden Frankreichs und Teile Zentralfrankreichs umfasst. In dem sedimentären Becken wurden erstmals im Perm (vor etwa 290-250 Mio. Jahren) Sedimente abgelagert, zunächst terrestrischen Ursprungs (i. W. Konglomerate und Sandsteine), später (in der Trias) flachmarine Mergel, Kalke und Evaporite. Seit dem Jura (vor etwa 200 bis 145 Mio. Jahren) kamen marine Sedimente (Karbonate und Tone) zur Ablagerung. Die für das Endlagervorhaben vorgesehene Wirtsgesteinsformation gehört zu diesen marinen Ablagerungen. Sie besteht aus etwa 160 Mio. Jahre alten jurassischen Tonsteinen des Callovo-Oxfordien, die am Standort CIGÉO in etwa 450 m Tiefe mit einer Mächtigkeit um 140 m vorliegen. Unterlagert wird sie von mächtigen Kalksteinen des Dogger, überlagert von jüngeren Karbonatgesteinen (Mergeln und Kalksteinen) des Oxfordien, in denen auch nutzbare bzw. genutzte Grundwasservorkommen anzutreffen sind. Die hier vorliegenden Grundwasserleiter zeigen Karst-Phänomene, die Einfluss auf den Grundwasserabfluss und die Drainage in die Flusssysteme der Meuse und der Marne haben und ein komplexes System mit schwierigen Beobachtungs- und Vorhersagebedingungen bilden /Huv 13/.

In etwa 18 bis 20 km Entfernung südöstlich und östlich des Standorts des Untertagelabors tritt die Wirtsgesteinsformation im Tal der Meuse zu Tage. Die Schichtenfolge des Pariser Beckens ist an seinem Nord-Ostrand, zu dem die Region um den Standort CIGÉO gehört, sehr flach (1 bis 1,5°) nach Westen und Südwesten hin geneigt, fällt also in Richtung auf das Beckenzentrum ein. Die Druckgradienten in den Grundwasserleitern in größerer Tiefe sind ebenfalls sehr flach und folgen der Schichtneigung. Im oberflächennahen Bereich wird die Grundwasserhydraulik auch durch die Geländemorphologie und die Täler der Vorfluter beeinflusst.

Die Fließgeschwindigkeiten in den dichten Tonsteinen der Wirtsgesteinsformation sind bei den sehr geringen Durchlässigkeiten (für den Tonstein werden von Andra Werte zwischen $5 \cdot 10^{-12}$ und $5 \cdot 10^{-14}$ m/s, jeweils mit einer Größenordnung Unterschied in vertikaler und horizontaler Richtung, angegeben) streng genommen nur theoretisch anzugeben; Andra geht von einer sehr langsamen Fließgeschwindigkeit von wenigen cm in 100.000 Jahren aus. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass diese Annahme nur für homogenes und isotropes Tongestein gilt, Andra berücksichtigt dabei nicht die Möglichkeit höherer Gebirgsdurchlässigkeiten, die sich durch das Vorhandensein offener Klüfte ergeben können. /IEER 11/ führt diesbezüglich an, dass Andra den Anteil advektiven Stofftransports wahrscheinlich unterschätzt und dass die ausschließliche Berücksichtigung des diffusiven Transports den wahrscheinlichen Verhältnissen nicht gerecht wird.

Für die Nachbarformationen (Grundwasserleiter) des Dogger und des Oxfordien werden bei höheren Gebirgsdurchlässigkeiten (10^{-9} bis 10^{-7} m/s) Grundwasserströmungsgeschwindigkeiten in der Größenordnung von einem Kilometer pro 100.000 Jahren oder weniger angegeben.

Insgesamt ist also im Hinblick auf die Fragestellung nach grenzüberschreitenden Effekten festzustellen, dass die hydrogeologischen Randbedingungen sowohl von der Orientierung der Druckgradienten als auch im Hinblick auf die Strömungsgeschwindigkeiten heute eine Grundwasserströmung aus dem Standortbereich des CIGÉO in Richtung auf die Nachbarländer Rheinland-Pfalz, Saarland und Luxemburg nicht zulassen.

6.1.2. Tektonik

Die bis dato dokumentierten größeren tektonischen Bruchlinien wie der Graben von Gondrecourt und der Marnegraben begrenzen das von Andra prospektierte Gebiet nach Südosten und Südwesten. Andra hat den Anspruch, das Endlager in einer Region zu errichten, die NICHT von maßgeblichen tektonischen Störungen beeinflusst wird. Insofern liegen die bekannten Grabenstrukturen auch außerhalb der „Zone de transposition“. Im Norden und im Zentralteil der „Zone de transposition“ wurden bei seismischen Untersuchungen 2007/2008 offenbar weitere Störungslinien detektiert, deren Herkunft und Relevanz noch nicht vollständig interpretiert ist. Die Störungen liegen in den untersuchten seismischen Profilen unterhalb des Wirtsgesteinshorizonts und sind somit älter. In /IEER 11/ wird darauf hingewiesen, dass eine dieser Störungslinien in den Bereich der ZIRA reicht.

Eine im Auftrag einer kritischen Bürgerinitiative (Collectif contre l'enfouissement des déchets radioactifs de la Haute-Marne) im Jahr 2002 vorgelegte Expertise (Mul 02) ordnet die Region um Bure in den geotektonischen Kontext ein (östlicher Bereich des westeuropäischen Riftsystems) und weist darauf hin, dass das Gebiet um das Untertagelabor Bure stärker von Bruchvorgängen betroffen ist als von Andra zum damaligen Zeitpunkt prognostiziert. Auch sei die seismische Aktivität an nahegelegenen Störungen nicht vernachlässigbar. Südlich und westlich des späteren Untertagelabor-Standorts verorten die Autoren ein lokales System von Störungen, das beispielsweise in /Andra 05/ und auch später in /Andra 10/ nicht erwähnt wird. Für den Bereich des Vorhabens CIGÉO bzw. der ZIRA weist die Expertise allerdings nicht auf zusätzliche Störungen hin. Es ist im Rahmen der hier zu bearbeitenden Fragestellung nicht möglich, die Relevanz dieses lokalen Störungssystems zu prüfen oder die Tatsache, dass Andra in den herangezogenen Unterlagen hierauf nicht erkennbar eingeht, zu kommentieren.

Historische Erdbeben werden in /Mul 02/ mit Magnituden zwischen 2 und 2,7 angegeben. Andra weist in /Andra 05/ darauf hin dass für die Bewertung der Langzeitsicherheit des Endlagers ein Erdbeben der Stärke 6,1 ($\pm 0,4$) in etwa 6 km Entfernung postuliert wurde, was gegenüber diesen Angaben sicher abdeckend ist.

Aus den gesichteten Informationen ist zunächst kein Hinweis abzuleiten, der auf präferenzielle Fließwege für eine potenzielle Radionuklid Ausbreitung in die Nachbarländer entlang der vorhandenen Störungslinien hindeutet. Allerdings ist noch nicht abschließend geklärt bzw. dokumentiert, inwieweit der Standort CIGÉO selbst und seine Langzeitsicherheit von den 2007 detektierten Störungslinien beeinträchtigt werden.

6.1.3. Oberflächengewässer

Das System der Oberflächengewässer entwässert die Region über die Vorfluter Meuse (Maas) in nordwestliche Richtung nach Belgien und über die Marne in Richtung Paris. Im Bereich des ZIRA sind die Ornain und ihre Nebengewässer örtliche Vorfluter. Die Ornain ist über die ebenfalls lokal als Vorfluter wirksame Saulx mit der Marne und der Seine verbunden. Die Mosel als hydrologische Verbindung nach Deutschland und in das deutsch-luxemburgische Grenzgebiet ist an dieses System nicht angeschlossen, insofern lässt sich hinsichtlich der Betroffenheit der Auftraggeberländer kein Ausbreitungspfad eventuell emittierter Radionuklide über das Oberflächengewässersystem herleiten.

6.1.4. Erosion und zukünftige Standortentwicklung

Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung des Endlagerstandorts betrachtet Andra eine innerhalb einer Million Jahre durch Erosion veränderte Geländeoberfläche (s.u.). Hierfür sind die heutigen Fließgewässer die wesentlichen Ausgangspunkte der Erosionsmodellierung. Da die Erosionsmodellierung nur regional abgebildet wird, ist es auf dieser Grundlage nicht möglich, eine überregionale Veränderung im System der Oberflächengewässer, z.B. eine Verbindung zur Mosel und in die Nachbarländer, zu postulieren. Andra geht jedenfalls davon aus, dass durch die Entwicklung der Geländeoberfläche innerhalb der nächsten Million Jahre keine intolerable Strahlenexposition durch die aus dem Endlager austretenden Radionuklide zu besorgen ist. Da die Besorgnis mit steigender Entfernung grundsätzlich sinkt, ergibt sich auch hieraus kein Hinweis auf eine für die Nachbarländer ungünstige Entwicklung.

6.2. Andra's bisherige Betrachtungen zur Langzeitsicherheit

Die für den Zweck der *débat public* von Andra veröffentlichten Dossiers enthalten keine substantiellen Informationen über den Nachweis der Langzeitsicherheit des Standorts CIGÉO, sondern stellen lediglich fest, dass Andra davon ausgeht, dass am Standort eine langzeitsichere Endlagerung möglich ist. Für detailliertere Informationen wurde auf die in /Andra 05/ und /Andra 10/ vorhandene Information zurückgegriffen. Eine gute Zusammenfassung des Sachstands gibt auch die Stellungnahme des Review-Teams des Institute for Research on Energy and Environmental Research (IER) /IEER 11/.

Maßgebliches Kriterium für den Nachweis der Langzeitsicherheit ist für Andra die Darstellung, dass aus dem Endlager freigesetzte Radionuklide die Biosphäre nur in Konzentrationen erreichen, die zu Individualdosen unterhalb 0,25 mSv/a führen. Hierzu wird betrachtet, in welcher Menge, Konzentration und Rate die aus dem Endlager freigesetzte Aktivität nach Durchwanderung der Wirtsgesteinsformation des Callovo-Oxfordien diese verlässt, in die darüber liegenden, zur Trinkwassergewinnung grundsätzlich nutzbaren Grundwasservorkommen eindringt und durch die Nutzung des Grundwassers zu einer Individualdosis führt. Hierzu werden i. W. zwei Szenarien betrachtet: Eine Freisetzung unter heutigen Randbedingungen und ein Zukunftsszenario für einen Zeitpunkt in einer Million Jahren.

Für das für die Langzeitsicherheitsbetrachtung relevante Zukunftsszenario wird die zukünftige Entwicklung der Geländeoberfläche durch Erosion modelliert. Die Wirkung von Eiszeiten wird als Beitrag zu großräumigen Hebungen und Senkungen durch isostatische Ausgleichbewegungen der mitteleuropäischen Erdkruste berücksichtigt. Sie wird mit einem Betrag von etwa 10 bis 20 m Absenkung durch eine nördlich (bis zu den in Deutschland dokumentierten Vereisungsgrenzen der letzten Eiszeiten) stattfindende Vereisung abgeschätzt. Ihre Wirkung auf das Untersuchungsgebiet sei allerdings nicht detektierbar, der Einfluss auf die Erosion (bei entsprechender isostatischer Hebung in Warmzeiten) durch die allgemeine, auf geotektonischen Prozessen beruhende Hebungsprognose (s.u.) abgedeckt. Direkte Erosion durch Vergletscherung wird ausgeschlossen, da auch in der Vergangenheit Eiszeiten das Gebiet nicht erreichten. Klimatische Veränderungen werden mit einem ungestörten und einem anthropogen überprägten Szenario beschrieben und ihre Auswirkungen auf Permafrost und Vegetation abgeschätzt, wobei die sich ergebende Geländeentwicklung beider Szenarien nach einer Million Jahren i. W. als identisch bezeichnet wird.

Für das Untersuchungsgebiet wird aufgrund der großräumigen geotektonischen Situation eine durchschnittliche Hebungsrate von etwa 80 m in einer Million Jahren als stabiler Mittelwert für die kommenden mehreren Millionen Jahre prognostiziert. Diese Hebungsrate ist maßgeblich für Reliefunterschiede und damit für die Modellierung von Erosionsvorgängen (Flächenabtrag, Einschneiden von Fließgewässern in den Untergrund).

Alle unterhalb des Erosionsniveaus liegenden Randbedingungen sind im Zukunftsszenario mit der heutigen Situation identisch. Als Erosionsniveau wird über den Betrachtungszeitraum (1 Mio. Jahre) im Bereich des Untertagelabors die Freilegung der verkarsteten Kalksteine des Oxfordien im Flusstal der Ornain und der Saulx prognostiziert. Die Entwicklung vollzieht sich natürlich sukzessive. Relevant wird die Freilegung des Oxfordien ab einem Zeitpunkt in etwa 500.000 Jahren. Die Abfolge von Karbonat-Gesteinen des Oxfordien ist der eigentlichen Wirtsgesteinsformation des Callovo-Oxfordien überlagert. Auf diese Weise verkürzt sich der Transferpfad aus der Endlagerformation in die Biosphäre. Der Standort CIGÉO ist hiervon durch die Entwicklung des Vorfluters Ornain betroffen.

Ergebnis der Modellierung des Zukunftsszenarios sind in ihrer Lage veränderte Referenzpunkte (i.e. Grundwasseraustritte) für die Expositionsberechnung, für die die Einhaltung des Dosiskriteriums von $< 0,25$ mSv/a rechnerisch nachgewiesen wird.

Das Wirtsgestein selbst wird i. W. als homogener und isotroper Tonstein mit der im Untertagelabor Bure im Durchschnitt anzutreffenden Qualität beschrieben. Bereits in /Andra 05/ wird die Bildung neuer oder Aktivierung vorhandener Störungen mit Verweis auf die in dieser Hinsicht in den letzten Millionen Jahren stabile geologische Historie ausgeschlossen, ebenso wie der Einfluss von Vulkanismus. Mit hierdurch induzierten Bruchvorgängen im Bereich des Callovo-Oxfordien in der „Zone de transposition“ wird dementsprechend nicht gerechnet.

Für das Endlager selbst werden innerhalb dieser Szenarien eine ungestörte Entwicklung (Referenzszenario) sowie gestörte Entwicklungen (i. W. das Versagen verschiedener technischer Barrieren und frühzeitiges Behälterversagen) betrachtet. Andra kommt zu dem Schluss, dass die herbei in der Zukunft zu erwartende potenzielle Strahlenexposition aufgrund der positiven Eigenschaften der geologischen Barriere unterhalb $0,25$ mSv/a liegt und damit tolerierbar ist. Das Maximum der Exposition wird nach einem Zeitraum von etwa 100.000 Jahren erwartet.

Es ist festzuhalten, dass die bis dato durchgeführten Untersuchungen sich nicht auf den direkten Standort CIGÉO beziehen sondern auf den Standort des Untertagelabors, sowie im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse auf verschiedene Modellstandorte innerhalb der „Zone de transposition“. Eine standortspezifische Analyse für den Standort CIGÉO wurde noch nicht vorgelegt.

Eine grundlegende Kritik des IEER /IEER 11/ an den Einschätzungen von Andra ist, dass die Langzeitsicherheitsaussagen drauf beruhen, dass das Wirtsgestein als wesentliche Barriere sich hinsichtlich seiner positiven Eigenschaften (geringe Durchlässigkeit, Sorption von Radionukliden, Ausschluss von konvektivem Transport, frei von Störungen und Mikrorissen) homogen und isotrop verhält, dass diese Eigenschaften sich also in dem betrachteten Raumvolumen nicht maßgeblich ändern. Außerdem geht Andra davon aus, dass sich die im Untertagelabor Bure erzielten Kenntnisse auf den Standort CIGÉO übertragen lassen. Mikrorisse im Gestein wurden im Untertagelabor und in einigen Erkundungsbohrungen zwar detektiert, diese waren aber verschlossen, was als allgemeines Merkmal der Mikrorisse in die Betrachtungen aufgenommen wurde.

Der Annahme der Homogenität und Isotropie wird in /IEER 11/ deutlich widersprochen. Die Übertragung der Daten aus dem Untertagelabor auf einen Langzeitsicherheitsnachweis am Standort CIGÉO ist derzeit mangels standortspezifischer Daten zwar nachvollziehbar, die Gültigkeit dieser Hypothese ist aber erst noch zu zeigen und bedarf im Rahmen der weiteren Erkundung und der Errichtung des Endlagers einer ständigen Überprüfung. Dies betrifft insbesondere das Vorhandensein oder den Ausschluss von Störungen sowie die Ausprägung von Mikrorissen im Gestein und ihrer hydraulischen Eigenschaften.

Außerdem wird die methodisch bedingte räumliche Auflösung der seismischen Daten im Hinblick auf ihre Aussagekraft für den von Andra postulierten Ausschluss hydraulisch durchlässiger Störungen im nahen Standortbereich in Frage gestellt.

Insgesamt hat IEER den Eindruck, Andra gehe mit einer (zu) optimistischen Einschätzung in das Genehmigungsverfahren. Dabei werde in den durchgeführten Sicherheitsanalysen meist mit Durchschnittswerten und zu kleinen Werteintervallen zur Sensitivitätsbetrachtung gearbeitet. Die tatsächlich deutlich größere Bandbreite der vorhandenen Messwerte werde ausgeblendet. IEER sieht dies als Schwäche im Ansatz der Andra an und empfiehlt stattdessen umfassende probabilistische Sicherheitsanalysen unter Berücksichtigung der gesamten dokumentierten Parameterbandbreite.

7. Zusammenfassende Bewertung und offene Fragen

7.1. Internationale Regelwerke

Es ist nicht festzustellen, dass das Endlagervorhaben CIGÉO in irgendeiner Weise internationalen Regelwerken zuwiderläuft. Das Genehmigungsverfahren befindet sich in einem frühen Stadium, die derzeitigen Sicherheitsanalysen sind als vorläufig zu betrachten und müssen im weiteren Fortgang zu einem „Safety Case“ weiterentwickelt und durch regelmäßige Überprüfung auch immer wieder zur Diskussion gestellt werden. Dieses schrittweise Vorgehen entspricht internationalem Standard und ist, wenn qualitativ hochwertig durchgeführt, verfahrensseitig nicht zu beanstanden.

Für das kommende Genehmigungsverfahren ist darauf hinzuweisen, dass den Nachbarländern Gelegenheit gegeben werden muss, sich umfassend über das Projekt und den Projektfortschritt zu informieren und bei Bedarf auch Einwendungen vorzubringen. Es ist allerdings auch darauf hinzuweisen, dass die derzeit absehbare direkte Betroffenheit der Nachbarländer aus unserer Sicht insgesamt gering ist.

7.2. Risiken im Normalbetrieb, Störfall oder beim Abfalltransport

Die vom eigentlichen Betrieb des Endlagers CIGÉO ausgehenden Risiken für die Länder Rheinland-Pfalz, Saarland und Luxemburg sind aufgrund der Entfernung von mindestens 110 km und den geringen zu erwartenden Freisetzungen radioaktiver Stoffe im Normalbetrieb und bei Störfällen sehr gering. Andernfalls könnten auch die Anforderungen des Strahlenschutzes in der unmittelbaren Umgebung des Standorts nicht eingehalten werden.

Bei sehr schweren Unfällen während des Transports von radioaktivem Abfall innerhalb Frankreichs zum Standort des Endlagers kann es zu deutlich größeren Freisetzungen radioaktiver Stoffe kommen als im eigentlichen Betrieb des Endlagers. Auch unter sehr pessimistischen Annahmen (ungünstige Abfallgebinde, starke mechanische und thermische Einwirkung beim Unfall durch Beteiligung anderer brennbarer Güter, Windrichtung direkt zur Grenze der zu betrachtenden Länder, ungünstige Niederschlagsverhältnisse) sind mögliche Strahlenexpositionen von Personen der Bevölkerung in Rheinland-Pfalz, dem Saarland und Luxemburg deutlich kleiner als 1 mSv. Maßnahmen des Katastrophenschutzes werden in diesen Ländern nicht erforderlich. Auch in Anbetracht der sehr geringen Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses einschließlich der gewählten Randbedingungen kann nur von sehr geringen gesundheitlichen Risiken ausgegangen werden.

Unter sehr pessimistischen Annahmen ist die Überschreitung von EU-Höchstwerten für die Vermarktung von Lebensmitteln möglich. Dies würde aber nur kleinräumig zu entsprechenden Conse-

quenzen führen können und nur, wenn Blattgemüse erntereif ist und Vieh auch nach einem solchen Transportunfall auf der Weide verbleiben würde.

7.3. Langzeitsicherheitsaspekte

Andra geht insgesamt mit einem positiv formulierten Ansatz in die Erkundung des Standorts CIGÉO. Dies bedeutet, dass Andra grundsätzlich von der Realisierung des Endlagervorhabens am gewählten Ort ausgeht. Dabei erwartet Andra im Standortbereich ein in seinen positiven Eigenschaften homogenes und isotropes Wirtsgesteinsvorkommen. Hieraus folgt eine positive Eignungsaussage bezüglich des Standorts CIGÉO. Aus seismischen Daten und einigen Erkundungsbohrungen wurden Informationen über Mächtigkeit, Tiefenlage und hydraulische Gradienten im regionalen Maßstab („Zone de transposition“) abgeleitet. Zusätzlich überträgt Andra die positiven Erkenntnisse aus den Untersuchungen im Untertagelabor Bure ohne Qualitätsabstriche auf den Standort CIGÉO. Die Eigenschaften des dort vorhandenen Tongesteins sind aber noch nicht direkt erkundet.

Erkennt man die Gültigkeit der von Andra verwendeten Postulate an, dann lassen sich hinsichtlich der Langzeitsicherheit keine für die Nachbarländer ungünstigen Entwicklungen erkennen. Diesbezüglich ist aber auf die bereits in /IEER 11/ vorgetragenen Kritikpunkte hinzuweisen, die sich auf die Unsicherheit im Hinblick auf die vermutete Homogenität des Wirtsgesteins und die erst noch zu zeigende Gültigkeit der im Untertagelabor Bure ermittelten Gesteins- und Formationsparameter auf den Standort CIGÉO beziehen.

Aber auch unter Berücksichtigung der Kritikpunkte an den derzeitigen Langzeitsicherheitsaussagen erscheint eine Beeinträchtigung der Nachbarländer durch die Migration von Radionukliden über den Grundwasserpfad oder über Oberflächengewässer aus hydraulischen und hydrogeologischen Gründen unwahrscheinlich. Es ist allerdings festzuhalten, dass es Kritikpunkte an den Langzeitsicherheitsaussagen gibt, die zur Folge haben können, dass die potenzielle Freisetzung von Radionukliden innerhalb des heutigen französischen Staatsgebietes unterschätzt oder zumindest nicht in ihrer gesamten möglichen Bandbreite erkannt wird. Eine detaillierte, auf den Standort CIGÉO bezogene Sicherheitsanalyse unter Würdigung der gesamten Bandbreite des Kenntnisstands könnte hier Abhilfe schaffen.

Es ist nicht auszuschließen, dass tiefer gehende Informationen und Erkundungsergebnisse bei Andra bereits vorliegen, die im Rahmen der hier durchgeführten Prüfung nicht berücksichtigt werden konnten oder grundsätzlich derzeit nicht zugänglich sind. Es ist außerdem zu erwarten, dass eine große Fülle an Detailinformationen über den Standort selbst erst im Zuge der Errichtung der Untertage-Anlagen gewonnen wird. Es ist von großer Bedeutung darauf hinzuweisen, dass diese Detailinformationen entscheidungsrelevant für die Eignungsbeurteilung des Endlagerstandorts vor der Einlagerung des ersten Abfallgebindes sind und die bis dato aus indirekten Untersuchungsmethoden (Seismik) oder Analogieschlüssen (aus dem Untertagelabor oder aus Erkundungsbohrungen) hergeleiteten Erwartungswerte in ihrer Bedeutung übertreffen. Schlussendlich muss der Nachweis vor Einlagerung des ersten Abfallgebindes anhand von standortspezifischen Daten erfolgt sein, die die aus den Daten des Untertagelabors und der Erkundung der „Zone de transposition“ von über Tage abgeleiteten Annahmen belastbar ersetzen.

Eine umfassende aber strukturierte Veröffentlichung der Standortcharakteristika würde helfen, die Öffentlichkeit umfassend zu informieren und in die Lage zu versetzen, die zu treffenden Entscheidungen und die Entwicklung des Standorts nachzuvollziehen. Die bisher im Rahmen der Débat Public veröffentlichten Dossiers reichen hierzu nicht aus. Wir erwarten daher, dass Andra spätestens im Rahmen der Antragstellung eine umfassende standortspezifische Sicherheitsanalyse ver-

öffentlich und zur Diskussion stellt. In diesem Zusammenhang ist es mittlerweile üblich, die Sicherheitsanalyse und bedarfsweise auch die unterlegten Quellen einem internationalen Peer Review zu unterziehen.

Wir erwarten außerdem, dass Andra während der Errichtung des Endlagers regelmäßig überprüft, dokumentiert und veröffentlicht, welche Abweichungen die tatsächlichen Befunde unter Tage von den abgeleiteten Erwartungswerten aufweisen und welche Auswirkungen diese Abweichungen auf die grundsätzliche Sicherheitsaussage haben. Hierzu wäre es empfehlenswert, maximal tolerierbare Abweichungen zu diskutieren. An Beispielen könnte dargestellt werden, welche Befunde dazu führen würden, den Standort als ungeeignet anzusehen und die Standortentscheidung rückgängig zu machen. Die Versagensgrenzen des Systems sollten aufgezeigt werden. Fragen in diesem Zusammenhang wären beispielweise die maximal tolerierbare Anzahl frühzeitig beschädigter Abfallgebinde, der maximale tolerierbare Anteil an offen verbleibenden Mikrorissen der EDZ²⁷, oder die maximal am Top der Wirtsgesteinsformation tolerierbare Konzentration an Radionukliden im Grundwasser. Gerade im Hinblick auf die vorgesehene Reversibilität als zentrale Eigenschaft des Endlagers und zur Demonstration der Robustheit des Systems erscheint eine solche Vorgehensweise sinnvoll und notwendig.

²⁷ „Excavation Disturbed Zone“, Auflockerungszone um untertägige Hohlräume herum

Literaturverzeichnis

- Andra 05 Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs: Dossier 2005 Argile ; Chatenay-Malabry, 2005
- Andra 10 Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs : Stockage réversible profond – Etape 2009: Options de sûreté du stockage en formation géologique profonde, Chatenay-Malabry, Sept. 2010
- Andra 13 Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs : Projet cigéo - Centre industriel de stockage réversible profond de déchets radioactifs en meuse/haute-marne : le dossier du maître d'ouvrage Débat public du 15 mai au 15 octobre 2013, Chatenay-Malabry, 2013
- AVV 12 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen) vom 28.08.2012 (BAnz AT 05.09.2012 B1)
- BMU 10 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle, Stand 30. September 2010
- EU 11 Richtlinie 2011/70/EURATOM des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (Abl. Nr. L199 vom 2. August 2011 S. 48 ff)
- F 06 La loi du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs
- F 10 Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs – PNGMDR 2010-2012
- F 13 Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs – PNGMDR 2013-2015
- Huv 13 Paul Huvelin: Circulation d'eaux a Bur, Jul. 2013 ; Mitteilung von Herrn Frank Linke, Initiative „Bure Zone Libre“.
- IAEA 97 International Atomic Energy Agency: Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Wien 1997
- IAEA 11a International Atomic Energy Agency: Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste: Specific Safety Guide SSG 14, Wien 2011
- IAEA 11b International Atomic Energy Agency: Disposal of Radioactive Waste, IAEA Specific Safety Requirement No. SSR-5, Wien 2011.
- IAEA 12 International Atomic Energy Agency: The safety case and safety assessment for the disposal of radioactive waste: specific safety guide SSG-23, Wien 2012

- IEER 11 Institute for Energy and Environmental Research: Examen Critique du Programme de l'Andra sur les Recherches Effectuées dans le Laboratoire Souterrain de Bure et sur la Zone de Transposition Pour Définir une ZIRA; RAPPORT FINAL, 9 mars 2011 avec corrections 20 avril 2011, MD, USA
- Mul 02 Jaques Muller, Andre Mourot: Failles et seismes dans la region de Bure (Meuse, Haute-Marne), 2^e edition, Januar 2002
- NEA 12a Nuclear Energy Agency - Organisation for Economic Co-Operation and Development: Reversibility of Decisions and Retrievability of Radioactive Waste, Considerations for National Geological Disposal Programmes, Paris 2012
- NEA 12b Nuclear Energy Agency - Organisation For Economic Co-Operation And Development: Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste - Outcomes of the NEA MeSA Initiative, Paris 2012
- SSK 03 Strahlenschutzkommission (SSK): Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV - Neufassung des Kapitels 4: Berechnung der Strahlenexposition, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 186. Sitzung der SSK am 11. September 2003