



Bericht über die Umweltauswirkungen (*Strategische Umweltverträglichkeitsprüfung – SUP*) für den Vorentwurf des Königlichen Erlasses zur Festlegung des Verabschiedungsverfahrens der nationalen Politik bezüglich der langfristigen sicheren Entsorgung von konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen und zur Bestimmung der langfristigen Entsorgungslösung für diesen Abfall

Nationale Einrichtung für radioaktive Abfälle und angereicherte Spaltmaterialien

NIROND-TR 2020-07 D April 2020

Annahme von Version 1.0

Redaktion:
Arbeitsgruppe NERAS,
unter der Leitung von Peter de Preter

Unterschrift

Peter De
Preter
(Signature)



Digitally signed by
Peter De Preter
(Signature)
Date: 2020.04.10
10:43:26+02'00'

Nachprüfung:
Philippe Lalieux (NERAS)


Philippe Lalieux
(Signature)
2020.04.10
11:22:43 +02'00'

Abnahme:
Marc Demarche (NERAS)



Das vorliegende Dokument ist Eigentum der NERAS und ist gemäß dem belgischen Gesetz vom 30. Juni 1994 urheberrechtlich geschützt. Es darf vollständig oder in Teilen, in welcher Form oder über welches digitale oder mechanische Mittel auch immer nur für den nichtkommerziellen Gebrauch mit ordnungsgemäßer Quellenangabe reproduziert oder übertragen werden. Jede Reproduktion und/oder Übermittlung zu anderen Zwecken benötigt die vorherige schriftliche Zustimmung der NERAS. Die NERAS ist in keinem Fall haftbar für Verluste, Schäden oder Kosten, die Dritten durch die Verwendung dieses Dokuments und/oder der darin enthaltenen Daten ganz oder teilweise entstehen oder die sie dadurch erleiden.

Informationen zu diesem Dokument

Bericht über die Umweltauswirkungen (*Strategische Umweltverträglichkeitsprüfung* – SUP) für den Vorentwurf des Königlichen Erlasses zur Festlegung des Verabschiedungsverfahrens der nationalen Politik bezüglich der langfristigen sicheren Entsorgung von konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen und zur Bestimmung der langfristigen Entsorgungslösung für diesen Abfall

Nationale Einrichtung für radioaktive Abfälle und angereicherte Spaltmaterialien
Avenue des Arts/Kunstlaan 14
1210 Brüssel
BELGIEN

<i>Reihe</i>	Kategorien B&C
<i>Dokumententyp</i>	NIRONDR-TR
<i>Status</i>	Öffentlich
<i>Veröffentlichungsdatum</i>	April 2020
<i>Nr. des NERAS-Berichts</i>	NIRONDR-TR 2020-07 D
<i>Versionsnummer</i>	Version 1.0
<i>Schlüsselwörter</i>	B&C-Abfall, Entsorgung, langfristig sichere Entsorgung, geologische Endlagerung, nationale Politik, Planentwurf, Plan, SUP, Umweltauswirkungen

Versionen

Versionsnummer und Datum	Kommentare und grundlegende Änderungen im Gegensatz zur vorherigen Version
1.0 April 2020	

Dieses Dokument ist auch auf Niederländisch und Französisch verfügbar, unter den Referenzen NIRONDR-TR 2020-07 N und NIRONDR-TR 2020-07 F.

Es wird um eine nichttechnische Zusammenfassung mit der Referenz NIRONDR-TR 2020-08 D ergänzt, die auch auf Niederländisch und Französisch unter den Referenzen NIRONDR-TR 2020-08 N und NIRONDR-TR 2020-08 F verfügbar ist.

Weitere Informationen: www.ondraf.be/sea2020 oder www.niras.be/sea2020

Herausgeber: Marc Demarche, Generaldirektor, Avenue des Arts/Kunstlaan 14, 1210 Brüssel, Belgien

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Kontext und Vorgeschichte von Planentwurf und SUP	5
1.1 Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen für den Umgang mit radioaktiven Abfällen, insbesondere deren langfristig sichere Entsorgung	5
1.2 Die NERAS und das System zur Entsorgung radioaktiven Abfällen	8
1.3 Nationaler Politikvorschlag vom Juni 2018	10
1.4 Hintergrund zum Vorschlag vom Juni 2018	11
1.5 Notwendigkeit eines neuen SUP-Verfahrens und Erstellung der SUP	12
1.6 Struktur der SUP	12
2 Der Planentwurf	15
2.1 Technische und nichttechnische Aspekte	15
2.1.1 Technische Lösung, deren Umweltauswirkungen zu prüfen sind: „ein System der geologischen Endlagerung auf belgischem Staatsgebiet“	15
2.1.2 Nichttechnische Aspekte ohne Umweltauswirkungen: stufenweise Verabschiedung der nationalen Politik und Entscheidungsprozess	17
2.2 Umfeld, in dem der Plan umgesetzt wird	18
2.3 Vorläufiger Zeitplan für die Umsetzung	18
2.4 Inventar der radioaktiven Abfälle	19
2.4.1 Klassifizierung der konditionierten radioaktiven Abfälle im Hinblick auf die Entsorgung	20
2.4.2 Referenzinventar	21
2.4.3 Potentielles Zusatzinventar	22
3 Geologische Endlagerung: allgemeine Einführung	23
3.1 Geologische Endlagerung in Stollen	24
3.2 Geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern	29
3.2.1 Tiefe Bohrlöcher	29
3.2.2 Vorteile, Nachteile und Herausforderungen	32
3.3 Kurzer Vergleich der geologischen Endlagerung in Stollen und der geologischen Endlagerung in tiefen Bohrlöchern	33
3.4 Wirtgestein	34
3.4.1 Im Allgemeinen im Ausland	34
3.4.1.1 Evaporite	35
3.4.1.2 Kristallingesteine	35
3.4.1.3 Tonformationen	35
3.4.2 In Belgien	36
3.4.2.1 Evaporite	36
3.4.2.2 Kristallingesteine	36
3.4.2.3 Tonformationen	36
3.5 Nationale Politiken ausländischer Länder zur langfristig sicheren Entsorgung ihrer konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle	37

4	Alternativen, die keine vernünftigen Ersatzlösungen zur geologischen Endlagerung darstellen	41
4.1	Alternativen zur geologischen Endlagerung	41
4.1.1	Langfristige Lagerung	42
4.1.2	Dauerhafte Lagerung	43
4.1.3	Zur Endlagerung umwandelbare Lagerung	45
4.2	Fortschrittliche Partitionierungs- und Transmutationstechnologien	45
4.3	Alternativen, die gegen Vorschriften verstoßen und/oder unkontrollierbare Risiken darstellen	47
5	Schnittstellen des Plans zu anderen relevanten Plänen und Programmen oder gültigen relevanten Politiken	51
6	Inhalt der SUP	53
6.1	Zusammenfassung der Screening- und Scoping-Verfahren und Ergebnis	53
6.1.1	Screening	53
6.1.2	Scoping	55
6.1.2.1	Ergebnisse für den Zeitraum vor dem Verschluss	56
6.1.2.2	Ergebnisse für den Zeitraum nach dem Verschluss	57
6.2	Unmöglichkeit der Prüfung grenzüberschreitender Auswirkungen	57
7	Referenzsituation und voraussichtliche Entwicklung bei Nichtdurchführung des Plans	59
7.1	Oberflächennahe Zwischenlagerung	59
7.1.1	Zwischenlagerung von konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen	59
7.1.2	Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen	61
7.2	Erwartete Entwicklung bei Nichtdurchführung des Plans	62
8	Verwendete Methode	65
8.1	Methodischer Ansatz	65
8.1.1	Entsorgungsoptionen und typische Konzepte	65
8.1.2	Zeitraum vor und nach dem Verschluss	65
8.1.3	Inventare radioaktiver Abfälle	66
8.1.4	Unsicherheiten und Robustheit nach dem Verschluss	66
8.2	Konsultierte Experten	66
8.3	Aufgetretene Schwierigkeiten und Einschränkungen	66
9	Umweltverträglichkeitsprüfung der geologischen Tiefenlagerung in Stollen	69
9.1	Standardkonzepte	69
9.1.1	Oberflächenanlagen	70
9.1.2	Untertageanlagen	72
9.1.3	Phasen der Implementierung und des Verschlusses	76
9.2	Konkretisierung der Vorstellungen zum Bewertungsobjekt	77
9.2.1	Annahmen und Werte von Bemaßungsparametern	77
9.2.2	Aktivitäten, die in den verschiedenen Phasen berücksichtigt werden	79
9.3	Umweltverträglichkeitsprüfung für die Periode vor und nach dem Verschluss	81

9.3.1	Ermittlung der Umsetzungsaktivitäten, die a priori zumindest eine erhebliche Auswirkung auf die Umwelt haben	81
9.3.2	Bewertung der Auswirkungen von Aktivitäten, die a priori zumindest eine bedeutende Auswirkung haben, und der Auswirkungen der natürlichen Entwicklung des Systems	87
9.4	Bewertung der Umweltauswirkungen einer Erhöhung des Referenzinventars	91
9.5	Überwachungsmaßnahmen oder Monitoring	92
9.6	Umweltverträglichkeitsprüfung einer multinationalen geologischen Tiefenlagerung in Stollen	93
10	Umweltverträglichkeitsprüfung der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern	95
11	Robustheit und Flexibilität eines geologischen Tiefenlagers	97
11.1	Geologische Tiefenlagerung in Stollen	97
11.1.1	Robustheit	97
11.1.2	Flexibilität	98
11.2	Geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern	99
12	Abschließende Überlegungen und Empfehlungen	101
Anhang 1	Akronyme	109
Anhang 2	Referenzen der Dokumente, die die nationalen Politiken für die langfristig sichere Entsorgung der ausländischen Staaten festlegen oder darauf Bezug nehmen	111
Anhang 3	Stellungnahme des Beratungsausschusses und wie sie behandelt wurde	113
Referenzen		117

Zusammenfassung

Zur Erfüllung seiner rechtlichen Aufgaben schlug die NERAS – die öffentliche Einrichtung mit der für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Belgien zuständigen Rechtspersönlichkeit – im Juni 2018 ihrer Aufsicht vor, die Grundlage für die künftige nationale Politik für die langfristige Entsorgung konditionierter radioaktiver Abfälle mit hoher Aktivität und/oder langer Lebensdauer festzusetzen. Ihr Vorschlag, in Form eines Vorentwurfs eines Königlichen Erlasses, definiert das Verabschiedungsverfahren besagter Politik und definiert die langfristige Entsorgungslösung für Abfälle als „*ein System der geologischen Endlagerung auf belgischem Staatsgebiet*“. Diese Lösung bildet den *ersten Teil* der Politik. Der Vorschlag sieht vor, dass die Politik andere Teile enthält, die durch aufeinanderfolgende königliche Erlasse festgelegt werden, einschließlich insbesondere des Entscheidungsprozesses und der Auswahl des Standorts oder der Standorte für die Implementierung der Endlagerung.

Die geologische Endlagerung ist eine dauerhafte Lösung für das Umweltproblem von hochradioaktiven und/oder langlebigen konditionierten Abfällen. Diese Abfälle stellen über einen sehr langen Zeitraum ein Risiko dar und müssen für einige hunderttausend Jahre oder sogar für einen Zeitraum in der Größenordnung von einer Million Jahren von Mensch und Umwelt isoliert werden. Sie werden derzeit sicher in speziellen Gebäuden gelagert, aber die Aufrechterhaltung der Lagersicherheit basiert dauerhaft auf menschlichen Handlungen. Die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers beruht indes auf der Fähigkeit ihrer multiplen technischen und natürlichen Barrieren, radioaktive Abfälle einzuschließen und sie in ausreichendem Masse und ausreichend lange von der Biosphäre zu isolieren, *ohne dass menschliches Handeln erforderlich ist*. Dies ist eine regulatorische Voraussetzung. Alle ausländischen Länder, die eine nationale Politik für die langfristige Entsorgung ihrer konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle verfolgen, haben sich für diese Art von Lösung entschieden. Überdies gibt es *keine vernünftige Alternative für die geologische Tiefenlagerung*. In Belgien ist die geologische Tiefenlagerung seit mehr als 40 Jahren Gegenstand von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsarbeiten, die mehrfach von belgischen und ausländischen Experten ausgewertet wurden. Diesen Auswertungen zufolge kann Belgien diesen Weg fortsetzen: Es besteht hinreichendes Vertrauen, dass die Sicherheit der geologischen Tiefenlagerung nachgewiesen und durch industrielle Techniken auf belgischem Staatsgebiet umgesetzt werden kann.

Nationale Politiken werden als Pläne oder Programme betrachtet im Sinne des *Gesetzes vom 13. Februar 2006 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme und über die Teilnahme der Bürger an der Erarbeitung umweltbezogener Pläne und Programme*. Der Vorentwurf des vorgelegten Königlichen Erlasses stellt somit einen Planentwurf dar, dessen Herausgeber die NERAS ist, und der einer Umweltverträglichkeitsprüfung unterzogen werden muss.

Aufgrund des *konzeptionellen* und *allgemeinen* Charakters des Plans ist die vorliegende Umweltverträglichkeitsprüfung unvollständig und auf Beschreibungen begrenzt. Tatsächlich präzisiert der Plan nicht, welche geologische Tiefenlagerungslösung entwickelt und angewandt werden soll, und zwar weder das *Wo?* (Wirtgestein, Lagerungstiefe und Standort, *noch das Wie?* (Lagerkonzept und Implementierungstechnologien), *noch das Wann?* (Betriebsaufnahme bestenfalls in mehreren Jahrzehnten). Bei dieser ersten Bewertung werden auch bestimmte Arten von Umweltauswirkungen nicht berücksichtigt, entweder weil ihre Bewertung zu diesem Zeitpunkt irrelevant oder unmöglich ist – beispielsweise die Auswirkungen auf die Luft, die Auswirkungen von Lärm und Staub auf den Menschen, die Auswirkungen auf menschliche Aktivitäten oder die Veränderung der Landschaft – oder weil die Auswirkungen selbst als irrelevant oder vernachlässigbar angesehen werden – wie die Auswirkungen auf das Klima. Auf diese Bewertung sollten daher in späteren Phasen der Annahme der nationalen Politik und ihrer Umsetzung weitere, spezifischere und detailliertere Bewertungen folgen. Letztendlich

werden die relevanten Umweltauswirkungen des Plans, wie er durch ein oder mehrere Projekte konkretisiert werden soll, daher allesamt im Detail geprüft werden.

Die geologische Tiefenlagerung kann als geologische Tiefenlagerung in Stollen oder als geologische Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern umgesetzt werden.

- Die Umweltverträglichkeitsprüfung der *geologischen Tiefenlagerung in Stollen* basierte auf Lagerkonzepten für die drei weltweit am häufigsten berücksichtigten Arten von Wirtgesteinen, nämlich Evaporite, kristalline Gesteine und Tonformationen. Sie ging davon aus, dass die Abfälle in einer einzigen Anlage an einem einzigen Standort untergebracht wurden und dass alle Umsetzungsaktivitäten wie geplant verliefen. Sie wurde auf die Auswirkungen auf Oberflächen- und Grundwasser, Boden, Untergrund, menschliche Gesundheit sowie Flora und Fauna beschränkt.

Die Umsetzungsaktivitäten der geologischen Tiefenlagerung in Stollen, die mit größter Wahrscheinlichkeit erhebliche Auswirkungen zu haben scheinen, sind die Vorbereitung des Standortes, dessen Grundfläche in der Größenordnung von einem Quadratkilometer liegen würde, und der Bau von Oberflächenlagen sowie die Lagerung von Ausbruchmaterial vor Ort während des Baus der Untertageanlage. Die Hauptauswirkungen würden Oberflächenwasser und Boden sowie Flora und Fauna betreffen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist es nicht möglich, eine Stellungnahme zu den Auswirkungen der Verwendung von Wasser für den Betrieb einer Betonmischanlage am Standort auf das Oberflächen- oder Grundwasser oder zur Auswirkung der Wasserinfiltration in die Untertageanlage und ihre Zugänge auf das Grundwasser abzugeben.

Tätigkeiten im direkten Zusammenhang mit der Handhabung der radioaktiven Abfallgebinde bis zum endgültigen Verschluss des Tiefenlagers haben keine bedeutenden SUP-relevanten Umweltauswirkungen, und ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit im Besonderen werden als vernachlässigbar angesehen. Dies muss in den Sicherheitsdossiers auf der Grundlage der geplanten Betriebsverfahren nachgewiesen werden.

Die natürliche Entwicklung des Tiefenlagerungssystems in Stollen nach vollständigem Verschluss wird in den ersten Jahrtausenden aufgrund des Vorhandenseins von Wärme abgebenden hochradioaktiven Abfällen zu einem vorübergehenden Anstieg der Temperatur des Grundwassers und des Untergrunds führen. Längerfristig wird sich auch das Wirtgestein nach der langsamen und allmählichen Freisetzung von Radionukliden und von chemischen Verunreinigungen außerhalb des Tiefenlagers verändern. Jedes Endlagersystem muss jedoch so ausgelegt sein, dass unter allen Umständen aufgrund des Zusammenwirkens von technischen und natürlichen Barrieren und der radioaktiven Zerfalls signifikante Auswirkungen durch die Freisetzung dieser Substanzen auf die anderen Bereiche des Untergrunds, auf das Grundwasser und erst recht auf die Biosphäre vermieden werden. Die Einhaltung der Regeln und Grenzwerte im rechtlichen Rahmen des Strahlenschutzes und des Umweltschutzes stellt sicher, dass die Auswirkungen sehr gering und in jedem Fall vernachlässigbar sind im Vergleich zur gemittelten Exposition, insbesondere Strahlenexposition, für die Bevölkerung. Dies muss im Sicherheitsdossier, die dem Antrag auf nukleare Genehmigung zum Bau des Endlagers beigefügt wird, überzeugend nachgewiesen werden.

- Die Bewertung der Umweltauswirkungen der *geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern* beschränkte sich auf einige allgemeine Überlegungen, da diese Art der Entsorgung in Belgien nie untersucht wurde und die Heterogenität und mangelnde Redundanz der in der Literatur enthaltenen Informationen lassen keine ausreichend fundierte Bewertung zu. Allenfalls kann festgehalten werden, dass die Umweltauswirkungen der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern von der gleichen Natur sind wie diejenigen der Tiefenlagerung in Stollen, wobei es je nach den Auswirkungen unterschiedliche Ausmaße gibt.

Da der Plan das Ziel verfolgt, Mensch und Umwelt zu schützen, müssen seine Umweltauswirkungen als unvermeidliche Folge seiner Umsetzung angesehen werden, die so gering wie

möglich gehalten und abgemindert werden sollte. Diese Umsetzung wird von der Erteilung von nuklearen und nichtnuklearen Bewilligungen abhängig gemacht, die bestätigen, dass die geltenden Standards eingehalten werden. Die Nichtumsetzung des Plans wird jedoch früher oder später negative Folgen haben: Die derzeitige Situation der vorübergehenden sicheren Lagerung an der Oberfläche wird sich schließlich in eine unsichere Situation verwandeln, da es unmöglich ist, eine sichere aktive Verwaltung ewig aufrechtzuerhalten. Dies wird schwerwiegende Folgen für Mensch und Umwelt haben.

Die Ergebnisse der Umweltverträglichkeitsprüfung des Plans werden die vorgeschlagene Entsorgungslösung und damit die Einführung eines *geologischen Tiefenlagerungssystems auf belgischem Staatsgebiet* als Grundlage der langfristigen nationalen Entsorgungspolitik für konditionierte hochradioaktive und/oder langlebige Abfälle wahrscheinlich nicht in Frage stellen. Die NERAS findet zudem, dass

- die geologische Tiefenlagerung auf belgischem Gebiet unverzüglich auf föderaler Ebene als Grundlage der nationalen langfristigen Entsorgungspolitik verabschiedet werden muss;
- durch die Verschiebung dieser Entscheidung keine bessere Entscheidung getroffen werden kann;
- die geologische Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern eine ergänzende Entsorgungsoption zur geologischen Tiefenlagerung in Stollen für begrenzte Abfallmengen darstellen könnte, deren Wiedergewinnung man besonders erschweren möchte.

Schließlich weist die NERAS darauf hin, dass eine mögliche politische Entscheidung zugunsten einer mit anderen Ländern geteilten geologischen Tiefenlagerungslösung Belgien nicht von der Fortsetzung seines nationalen geologischen Tiefenlagerungsprogramms entbindet und keine Garantie auf ein schnelleres Ergebnis bieten würde.

1 Kontext und Vorgeschichte von Planentwurf und SUP

Belgien hat radioaktive Abfälle mit einer Vielzahl von Eigenschaften erzeugt und produziert sie auch weiterhin. Diese Abfälle stammen nicht nur aus der Kernenergieerzeugung, die 1975 begann und 2025 enden wird [Belgien 2003], sondern auch aus einer Vielzahl von nuklearen und/oder radioaktiven Anwendungen, einschließlich medizinischen, industriellen und forschungsbezogenen. *Wie bei allen Umweltfragen im Zusammenhang mit der Abfallbehandlung muss der Abfall sicher und verantwortungsbewusst entsorgt werden.* Bei einem kleinen Bruchteil davon handelt es sich um hochradioaktive und/oder langlebige Abfälle¹. Diese Abfälle, einschließlich abgebrannter Brennelemente, die als Abfall deklariert werden, stellen für einen langen Zeitraum eine Gefahr dar und müssen für Hunderttausende von Jahren – möglicherweise bis ca. 1 Million Jahre – von Mensch und Umwelt isoliert werden.

Dieses Kapitel schildert den Kontext für den Vorentwurf des Königlichen Erlasses (der einen „Planentwurf“ darstellt – siehe Abschnitt 1.3 für eine perspektivische Einordnung einiger Schlüsselbegriffe), der der NERAS und derer Aufsichtsbehörde unterliegt, die die langfristig sichere Entsorgungslösung für konditionierte hochradioaktive und/oder langlebige Abfälle sowie die Lösung des Berichts der strategischen Prüfung seiner Umweltauswirkungen (*Strategische Umweltverträglichkeitsprüfung* oder kurz: SUP) festlegt. Dieser Prüfungsbericht wird in Anwendung des Gesetzes vom 13. Februar 2006 *über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme und die Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Ausarbeitung der umweltbezogenen Pläne und Programme* [Belgien 2006] (Abschnitt 1.5) erstellt.

Nach einer kurzen Einführung in die NERAS und ihr Kerngeschäft – die Entsorgung radioaktiver Abfälle (Abschnitt 1.2) – sowie die Hauptgrundsätze und -verpflichtungen des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens (Abschnitt 1.1) behandelt dieses Kapitel den Planentwurf: Dieser besteht im Wesentlichen aus einem nationalen Politikvorschlag für die langfristig sichere Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle in Form eines Vorentwurfs eines Königlichen Erlasses (Abschnitt 1.3). Diese regulatorische Initiative zielt darauf ab, den ersten Stein eines Prozesses ins Rollen zu bringen, der es Belgien ermöglichen wird, seine Verpflichtungen in Sachen langfristig sichere Entsorgung dieser Abfälle zu erfüllen. Sie folgt auf eine Reihe von Initiativen, die auf einem ersten im Jahr 2011 veröffentlichten Plan basieren (Abschnitt 1.4).

1.1 Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen für den Umgang mit radioaktiven Abfällen, insbesondere deren langfristig sichere Entsorgung

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle erfolgt in einem internationalen, europäischen und nationalen gesetzlichen und regulatorischen Rahmen² (Kasten 1).

¹ Aktivität: Die wahrscheinliche Anzahl der Kernzerfälle einer Menge eines Radionuklids in einem gegebenen Energiezustand zu einem gegebenen Zeitpunkt in einem Zeitintervall, gemessen in Becquerel (1 Bq = 1 Kernzerfall pro Sekunde).

Lebensdauer oder Halbwertszeit: Die Zeitspanne in der die Menge und damit auch die Aktivität eines gegebenen Radionuklids durch den Zerfall auf die Hälfte gesunken ist. Nach 10 Halbwertszeiten wird die Aktivität um den Faktor 1.000 reduziert. Jedes Radionuklid hat eine bestimmte Halbwertszeit. „Langlebige“ Radionuklide haben eine Halbwertszeit von über 30 Jahren.

² Der gesetzliche und regulatorische Rahmen enthält ähnliche Bestimmungen und Grundsätze für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente, die jedoch nicht in diesem Dokument enthalten sind: Die Entsorgung abgebrannter, nicht als Abfall deklariertes Brennelemente fällt nicht in den Geltungsbereich des Plans, und abgebrannte, als Abfall deklariertes Brennelemente werden in Belgien unter dem Begriff „radioaktive Abfälle“ erfasst (siehe auch Abschnitt 2.4.2).

Der *internationale und europäische* Rahmen führt die *nationale Verantwortung* der Staaten in Bezug auf die Behandlung radioaktiver Abfälle an und erlegt ihnen auf, ohne bestimmte Vorgaben zu nennen, dass diese *im Mitgliedstaat endgelagert werden müssen, in dem sie entstanden sind*. Sie müssen daher per Definition in einer geeigneten Anlage, dem sogenannten „Endlager“, entsorgt werden, ohne dass die *Absicht* besteht, sie zurückzuholen, was jedoch nicht bedeutet, dass die Rückholbarkeit unmöglich ist. Die europäische Richtlinie 2011/70/Euratom vom 19. Juli 2011 erlegt den Mitgliedstaaten u. a. auf, *nationale Politiken* für die Entsorgung ihrer radioaktiven Abfälle zu erstellen und aufrechtzuerhalten. Die langfristige Sicherheit der Entsorgung muss auf *passive* Weise gewährleistet werden, d. h. ohne dass ein menschliches Eingreifen erforderlich ist.

Der gesetzliche und regulatorische Rahmen für die Entsorgung von radioaktivem Abfall in *Belgien* setzt sich hauptsächlich aus dem Artikel 179 des Gesetzes vom 8. August 1980, abgeändert durch das Gesetz vom 3. Juni 2014 zur Umsetzung der Richtlinie 2011/70/Euratom in das belgische Recht, sowie die dazugehörigen königlichen Erlasse. Insbesondere sieht Artikel 179 des Gesetzes vom 8. August 1980 vor, dass es Aufgabe der NERAS ist, nationale Politiken in Sachen Entsorgung radioaktiver Abfälle vorzuschlagen, und dass *die auf belgischem Staatsgebiet entstandenen radioaktiven Abfälle auch dort endgelagert werden*, es sei denn, es werden bestimmte Bedingungen erfüllt, die die Nutzung eines Endlagers in einem anderen Land erlauben (Artikel 179, § 7, Absatz 2). Der Königliche Erlass vom 20. Juli 2001 enthält die allgemeinen Bestimmungen, die den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlung regeln.

Kasten 1 – Internationaler und nationaler Rahmen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle ist eine nationale Verantwortlichkeit in einem internationalen Rahmen. Der internationale Rahmen, der sich hauptsächlich auf die sog. „Joint Convention“ (Gemeinsames Übereinkommen der IAEA, siehe unten) und die Richtlinie 2011/70/Euratom stützt, legt die anwendbaren Bestimmungen und Grundsätze für die Entsorgung radioaktiver Abfälle auf nationaler Ebene fest. Der nationale Rahmen besteht hauptsächlich aus dem Gesetz vom 8. August 1980 sowie den dazugehörigen Königlichen Erlassen und dem Königlichen Erlass vom 20. Juli 2001. Die wichtigsten relevanten Elemente dieser Texte für die langfristige Entsorgung radioaktiver Abfälle sind Folgende:

Gemeinsames Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle [IAEO 1997], von Belgien 1997 unterzeichnet und durch das Gesetz vom 2. August 2002 ratifiziert [Belgien 2002]

Präambel

Die Vertragsparteien

- vi) [in erneuter Bekräftigung dessen,] dass die Verantwortung für die Gewährleistung der Sicherheit der Behandlung [...] radioaktiver Abfälle letztlich beim Staat liegt;
- xi) [überzeugt,] dass radioaktive Abfälle in dem Staat endgelagert werden sollen, in dem sie erzeugt wurden, soweit dies mit der Sicherheit der Behandlung dieses Materials vereinbar ist, und gleichzeitig in der Erkenntnis, dass unter bestimmten Umständen die sichere und effiziente Behandlung [...] radioaktiver Abfälle durch Vereinbarungen zwischen Vertragsparteien über die Nutzung einer ihrer Anlagen zu Gunsten der anderen Parteien gefördert werden könnte, insbesondere wenn die Abfälle aus gemeinsamen Projekten stammen;

Artikel 1 – Ziele

Ziele dieses Übereinkommens sind:

- i) Erreichung und Beibehaltung eines weltweit hohen Sicherheitsstandes bei der Behandlung [...] radioaktiver Abfälle durch Verbesserung innerstaatlicher Maßnahmen und internationaler Zusammenarbeit, gegebenenfalls einschließlich sicherheitsbezogener technischer Zusammenarbeit;
- ii) Gewährleistung wirksamer Abwehrvorkehrungen gegen eine mögliche Gefährdung in allen Stufen der Behandlung [...] radioaktiver Abfälle, um den Einzelnen, die Gesellschaft und die Umwelt heute und in Zukunft vor schädlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung zu schützen, und dies in einer Weise, dass die Bedürfnisse und Wünsche der heutigen Generation erfüllt werden, ohne dass die Fähigkeit künftiger Generationen, die eigenen Bedürfnisse und Wünsche zu erfüllen, aufs Spiel gesetzt wird;

- iii) Verhütung von Unfällen mit strahlungsbedingten Folgen und Milderung solcher Folgen, falls sie in irgendeiner Stufe der Behandlung [...] radioaktiver Abfälle eintreten.

Artikel 2 – Begriffsbestimmungen

- f) „Lagerung“ das Aufbewahren [...] radioaktiver Abfälle in einer Anlage, in der für ihren Einschluss gesorgt wird, wobei eine Rückholung beabsichtigt ist;
- u) „Endlagerung“ die Einlagerung [...] radioaktiver Abfälle in einer geeigneten Anlage, wobei eine Rückholung nicht beabsichtigt ist;

Artikel 11 – Allgemeine Sicherheitsvorschriften

Jede Vertragspartei trifft die geeigneten Maßnahmen, um sicherzustellen, dass in allen Stufen der Behandlung radioaktiver Abfälle der Einzelne, die Gesellschaft und die Umwelt angemessen vor strahlungsbedingter und sonstiger Gefährdung geschützt sind. Zu diesem Zweck trifft jede Vertragspartei die geeigneten Maßnahmen,

- vi) um sich zu bemühen, Handlungen zu vermeiden, deren vernünftigerweise vorhersehbare Auswirkungen auf künftige Generationen grösser sind als die für die heutige Generation zulässigen;
- vii) um zu versuchen, künftigen Generationen keine unangemessenen Belastungen aufzubürden.

Richtlinie 2011/70/Euratom vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle [Rat der Europäischen Union 2011]

Artikel 1 – Gegenstand

1. Mit dieser Richtlinie wird ein Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung [...] radioaktiver Abfälle geschaffen, um zu vermeiden, dass künftigen Generationen unangemessene Lasten aufgebürdet werden.
2. Sie gewährleistet, dass die Mitgliedstaaten geeignete innerstaatliche Vorkehrungen für ein hohes Sicherheitsniveau bei der Entsorgung [...] radioaktiver Abfälle treffen, um die Arbeitskräfte und die Bevölkerung vor den Gefahren ionisierender Strahlung zu schützen.
3. Sie gewährleistet die erforderliche Unterrichtung und Beteiligung der Öffentlichkeit im Zusammenhang mit der Entsorgung [...] radioaktiver Abfälle; Belange der Sicherung und des Geheimschutzes werden dabei angemessen berücksichtigt.

Artikel 2 – Geltungsbereich

1. Diese Richtlinie gilt für alle Stufen [...] b) der Entsorgung radioaktiver Abfälle, die bei zivilen Tätigkeiten anfallen, von der Erzeugung bis zur Endlagerung.

Artikel 3 – Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser Richtlinie bezeichnet der Ausdruck:

3. „Endlagerung“ die Einlagerung [...] radioaktiver Abfälle in einer Anlage, wobei eine Rückholung nicht beabsichtigt ist;
14. „Lagerung“ das Aufbewahren [...] radioaktiver Abfälle in einer Anlage, wobei eine Rückholung beabsichtigt ist.

Artikel 4 – Allgemeine Grundsätze

1. Die Mitgliedstaaten erstellen die nationale Politik für die Entsorgung [...] radioaktiver Abfälle und erhalten diese aufrecht. [...] Jeder Mitgliedstaat [hat] die abschließende Verantwortung für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, die in seinem Hoheitsgebiet entstanden sind.
3. Die nationale Politik beruht auf allen folgenden Grundsätzen: [...] c) [...] radioaktive Abfälle werden sicher entsorgt; langfristig sind auch die Aspekte der passiven Sicherheit zu berücksichtigen.
4. Radioaktive Abfälle werden in dem Mitgliedstaat endgelagert, in dem sie entstanden sind, es sei denn, zum Zeitpunkt der Verbringung war – unter Berücksichtigung der von der Kommission [...] festgelegten Kriterien – ein Abkommen zwischen dem betreffenden Mitgliedstaat und einem anderen Mitgliedstaat oder einem Drittstaat in Kraft, nach dem eine Anlage zur Endlagerung in einem dieser Staaten genutzt wird.

Artikel 179 des Gesetzes vom 8. August 1980 über die Haushaltsvorschläge 1979–1980 [Belgien 1980], abgeändert durch das Gesetz vom 3. Juni 2014 zur Umsetzung der Richtlinie 2011/70/Euratom in belgisches Recht [Belgien 2014]

Artikel 179, § 5

Im Sinne dieses Artikels bezeichnet der Ausdruck:

3. Endlagerung: die Einlagerung [...] radioaktiver Abfälle in einer Anlage, wobei eine Rückholung nicht beabsichtigt ist, aber die Möglichkeit, die Abfälle gegebenenfalls gemäß den in den nationalen Politiken festgelegten Verfahren zurückzuholen, weiterhin besteht [...];
14. „Lagerung“ das Aufbewahren [...] radioaktiver Abfälle in einer Anlage, wobei eine Rückholung beabsichtigt ist.

Artikel 179, § 6

Durch einen im Ministerrat beratenen Erlass, auf Vorschlag [der NERAS] und nach Konsultation [der Föderalagentur für Nuklearkontrolle], richtet der König eine nationale Politik für die Entsorgung radioaktiver Abfälle [...] entsprechend den physikalischen, chemischen und radiologischen Eigenschaften der Abfälle ein und hält sie aufrecht [...], wobei er sich mindestens auf die folgenden allgemeinen Grundsätze stützt: 3. [...] die radioaktiven Abfälle werden sicher entsorgt, wobei die Langzeitsicherheit eines Endlagers insbesondere auf Sicherheitsvorkehrungen beruht, die langfristig passiv funktionieren können müssen;

Die nationalen Politiken [...] werden als Pläne oder Programme im Sinne des Gesetzes vom 13. Februar 2006 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme und die Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Ausarbeitung der umweltbezogenen Pläne und Programme betrachtet.

Die nationalen Politiken für die Entsorgung radioaktiver Abfälle [...] enthalten Modalitäten der Umkehrbarkeit, Rückholbarkeit und Überwachung für einen Zeitraum, der als Teil der Auslegung und des Betriebs jedes Endlagers festgelegt wird. Diese Modalitäten werden unter Berücksichtigung der Notwendigkeit, die Sicherheit des Endlagers zu gewährleisten, festgelegt.

Artikel 179, § 7

Die auf dem belgischen Staatsgebiet entstandenen radioaktiven Abfälle werden auch dort endgelagert, es sei denn, zum Zeitpunkt der Verbringung war – unter Berücksichtigung der von der Europäischen Kommission [...] festgelegten Kriterien – ein Abkommen zwischen dem Staat und einem anderen Staat in Kraft, nach dem eine Anlage zur Endlagerung in diesem Staat genutzt wird.

Königlicher Erlass vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen [Belgien 2001]

Der Königliche Erlass enthält insbesondere folgende Bestimmungen:

- die Genehmigungsregelung für Einrichtungen (Klasse I), in denen radioaktive Abfälle verarbeitet, konditioniert und gelagert werden sowie die allgemeinen Bestimmungen der Genehmigungsregelung für die Anlagen zur Endlagerung (Kapitel II, Abschnitt II, Artikel 6);
- die Grundnormen für den Schutz gegen die Strahlenbelastung (Kapitel III, Abschnitt I);
- verschiedene Bestimmungen bezüglich radioaktiver Abfälle (Kapitel III, Abschnitt IV).

Sonstige Bestimmungen

Für die verschiedenen Aspekte der Entsorgung radioaktiver Abfälle gelten zahlreiche weitere Bestimmungen in Form von internationalen Verträgen, europäischen Richtlinien oder nationalen und regionalen gesetzlichen oder regulatorischen Bestimmungen:

- Bestimmungen bezüglich des Schutzes von Personen und der Umwelt vor den Risiken ionisierender Strahlung (Strahlenschutz), auch im grenzüberschreitenden Kontext;
- Bestimmungen bezüglich des Umweltschutzes, auch im grenzüberschreitenden Kontext, sowohl auf Ebene der Pläne und Programme als auch auf Projektebene;
- Bestimmungen bezüglich des Zugangs der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen und die Möglichkeit einer wirksamen Beteiligung der Öffentlichkeit am Entscheidungsprozess für die Entsorgung radioaktiver Abfälle. [NERAS-Übersetzung aus dem Französischen]

1.2 Die NERAS und das System zur Entsorgung radioaktiven Abfällen

Die NERAS ist die öffentliche Einrichtung, die mit der Entsorgung von radioaktiven Abfällen in Belgien betraut ist. Ihre Aufgaben und Modalitäten für die Funktionsweise wurden durch Artikel 179 § 2 des Gesetzes vom 8. August 1980 und den Königlichen Erlass vom 30. März 1981 festgelegt [Belgien 1980, 1981]. Die NERAS steht unter der Aufsicht der Minister, denen die Bereiche Energie und Wirtschaft zugewiesen sind.

Seit den frühen achtziger Jahren hat die NERAS schrittweise ein kohärentes System der Entsorgung von radioaktiven Abfällen umgesetzt, um Mensch und Umwelt vor den Gefahren zu schützen, die von den Abfällen ausgehen, und gleichzeitig zu vermeiden, dass künftige Generationen unangemessene Belastungen zu tragen haben. Dieses System besteht aus einer

Abfolge von technischen Schritten von der Abfallerzeugung bis zur Endlagerung, die sich in kurz-, mittel- und langfristige Aktivitäten gruppieren lassen (Abbildung 1). Die kurz- und mittelfristigen Aktivitäten werden im Rahmen einer nationalen Politik des zentralisierten Entsorgung in Mol und Dessel an den NERAS-Standorten durchgeführt, die von ihrer industriellen Tochtergesellschaft Belgoprocess betrieben werden.

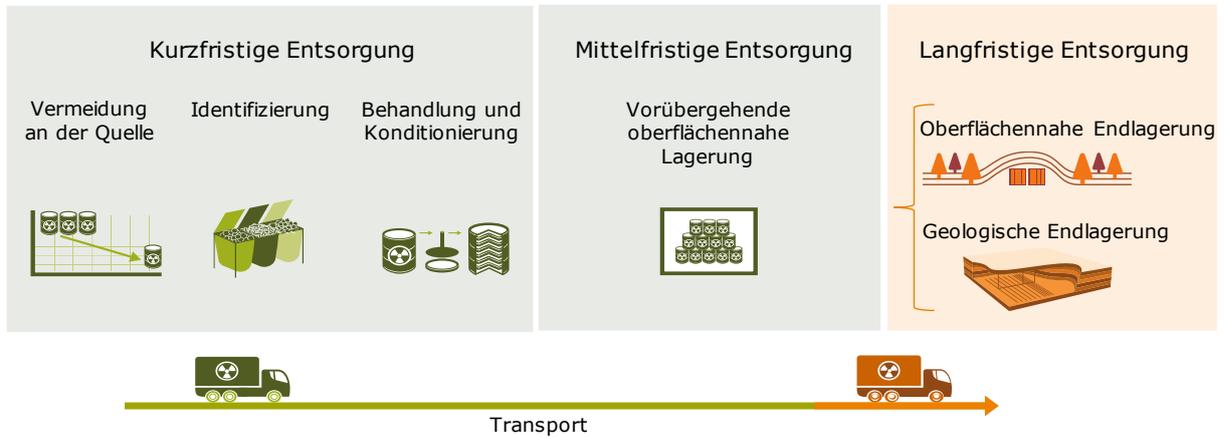


Abbildung 1 – Wichtige Schritte des Konzepts zur Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Die *kurzfristige Entsorgung* umfasst den Umgang mit unkonditionierten radioaktiven Abfällen, hauptsächlich die Vermeidung an der Quelle, die Einsammlung der Abfälle bei den Erzeugern, die Behandlung und Konditionierung. Ziel der Behandlung ist es, die Radioaktivität so weit wie möglich zu konzentrieren, um das Volumen des als radioaktiver Abfall zu betrachtenden Materials zu verringern und dieses Material in einen für die Konditionierung geeigneten physikalisch-chemischen Zustand zu bringen. Die Konditionierung der behandelten Abfälle erfolgt durch Immobilisation in einer Matrix, beispielsweise in Glas oder Zement, um eine solide und kompakte, chemisch stabile und in Wasser nicht oder nur schwer löslichen Materie zu erhalten, in deren Masse die radioaktiven Stoffe eingeschlossen sind. Die konditionierten Abfälle werden häufig in zylindrischen Metallverpackungen aufbewahrt.

Mittelfristig umfassen die Entsorgungsaufgaben die vorübergehende oberflächennahe Lagerung der Abfallgebände in Erwartung einer operationell sicheren Endlagerungslösung, die ihnen eine Endbestimmung zuweist, sowie deren Überwachung während der Endlagerung. Die oberflächennahe Lagerung ermöglicht eine Kühlung der wärmeerzeugenden Abfälle vor der Endlagerung. Die Lagergebäude sind entsprechend den radiologischen Eigenschaften der Abfälle, die sie aufnehmen sollen, konzipiert und haben eine maximale Lebensdauer von etwa 100 Jahren. Dies ist die Referenzsituation für die Entsorgung (Kapitel 7). Konzeptionell und rechtlich ist die vorübergehende Lagerung eine provisorische Entsorgungslösung (siehe Definitionen in Kasten 1 in Abschnitt 1.1).

Die Aktivitäten im Zusammenhang mit der langfristig sicheren Entsorgung konditionierter Abfälle befinden sich in unterschiedlichen Stadien des Fortschritts. In Bezug auf die Hauptabfallkategorien (Abschnitt 2.4.1) hat die Regierung zum Beispiel

- entschieden, dass die konditionierten schwach- und mittelradioaktiven und kurzlebigen Abfälle – in Belgien auch Abfälle der Kategorie A genannt – auf dem Gebiet der Gemeinde Dessel oberflächennah endgelagert werden sollen; Schätzungen zufolge wird die sogenannten nukleare „Bewilligung für die Errichtung und den Betrieb“ im Jahr 2022 durch einen Königlichen Erlass (siehe unten) erteilt werden können;
- noch nicht die Grundlage für eine nationale Politik für die langfristig sichere Entsorgung von konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen – in Belgien auch als

Abfälle der Kategorien B und C bekannt – geschaffen; es handelt sich daher um Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationstätigkeiten.

Die Tätigkeiten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle unterliegen wie alle anderen nuklearen Aktivitäten den Bestimmungen des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens für den Strahlenschutz, der hauptsächlich aus dem Königlichen Erlass vom 20. Juli 2001 besteht, der gemeinhin als *Allgemeine Ordnung über den Schutz gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen* bezeichnet wird [Belgien 2001] (siehe Kasten 1 in Abschnitt 1.1). Sie unterliegen dem Kontroll- und Genehmigungssystem dieses Königlichen Erlasses. Insbesondere muss die sogenannte nukleare „Bewilligung für die Errichtung und den Betrieb“ eines Endlagers bei der FANK auf der Grundlage einer sogenannten „Sicherheitsdossier“ beantragt werden. Die FANK ist die öffentliche Einrichtung, die für den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt vor den Gefahren ionisierender Strahlung verantwortlich ist.

Sie wird durch einen Königlichen Erlass auf Vorschlag der FANK und ihrer Aufsichtsbehörde, dem Minister des Innern, erteilt. Zum Bau eines Endlagers muss ebenfalls eine Bewilligung vorliegen.

1.3 Nationaler Politikvorschlag vom Juni 2018

Da Belgien noch keine nationale Politik für die langfristig sichere Entsorgung seiner konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle festgelegt hat, wie sie im nationalen Programm für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle [FÖD Wirtschaft 2016b] (Kapitel 5) dargelegt ist, hat die NERAS in Umsetzung der in Artikel 179 § 6 Absatz 1 des Gesetzes vom 8. August 1980 festgelegten Bestimmung (siehe Kasten 1 in Abschnitt 1.1), ihrer Aufsichtsbehörde im Juni 2018 die Grundlage der nationalen Politik für die langfristig sichere Entsorgung dieser Abfälle vorgeschlagen [NERAS 2018a].

Der Vorschlag der NERAS, in Form eines Vorentwurfs eines Königlichen Erlasses, definiert die langfristig sichere Entsorgungslösung für konditionierte hochradioaktive und/oder langlebige Abfälle als „*ein System der geologischen Endlagerung auf belgischem Staatsgebiet*“.

Da die im oben aufgeführten Artikel genannten nationalen Politiken als Pläne oder Programme im Sinne des Gesetzes vom 13. Februar 2006 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme betrachtet werden, stellt der Vorentwurf des vorgelegten Königlichen Erlasses folglich einen Planentwurf dar (siehe Kapitel 2 für eine detailliertere Darstellung des Planentwurfs), deren Herausgeber die NERAS ist (Abbildung 2). Die SUP folgt der Logik des Gesetzes vom 13. Februar 2006: Er bezieht sich daher nur auf einen „Planentwurf“, um sich auf den Vorschlag zu beziehen, der zur Stellungnahme der offiziellen Stellen und zur Beteiligung der Öffentlichkeit, die im gleichen Gesetz vorgesehen sind, vorgelegt wurde.

Der vorgelegte Planentwurf zielt darauf ab, die *Grundlage* für die nationale Politik für die langfristig sichere Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle auf *konzeptioneller* und *allgemeiner* Ebene festzulegen. Mit anderen Worten spezifiziert er *in keiner Weise* die zu entwickelnde und umzusetzende Lösung für die geologische Endlagerung:

- das *Wie?*, d. h. das Konzept der Endlagerung und die technische Umsetzung;
- das *Wo?*, d. h. das Wirtgestein, die Tiefe und der Standort des Endlagers³;
- und das *Wann?*,

³ Gemäß dem Planentwurf kann die Lösung der geologischen Endlagerung mittels einer oder mehrerer Anlage(n) zur Endlagerung an mehreren Standorten umgesetzt werden (Abschnitt 2.1.2). In einem solchen Fall sind unterschiedliche Wirtgesteine in unterschiedlicher Tiefe denkbar und die Entwicklung mehrerer Projekte kann nicht ausgeschlossen werden. Der Klarheit halber werden diese Begriffe im Text jedoch im Singular verwendet.

sondern kann im Rahmen einer beliebigen Lösung angewendet werden. Außerdem legt der Planentwurf fest, wie die nationale Politik *schrittweise* verabschiedet werden soll und skizziert dennoch festzulegenden Entscheidungsprozess (Abschnitt 2.1.2).

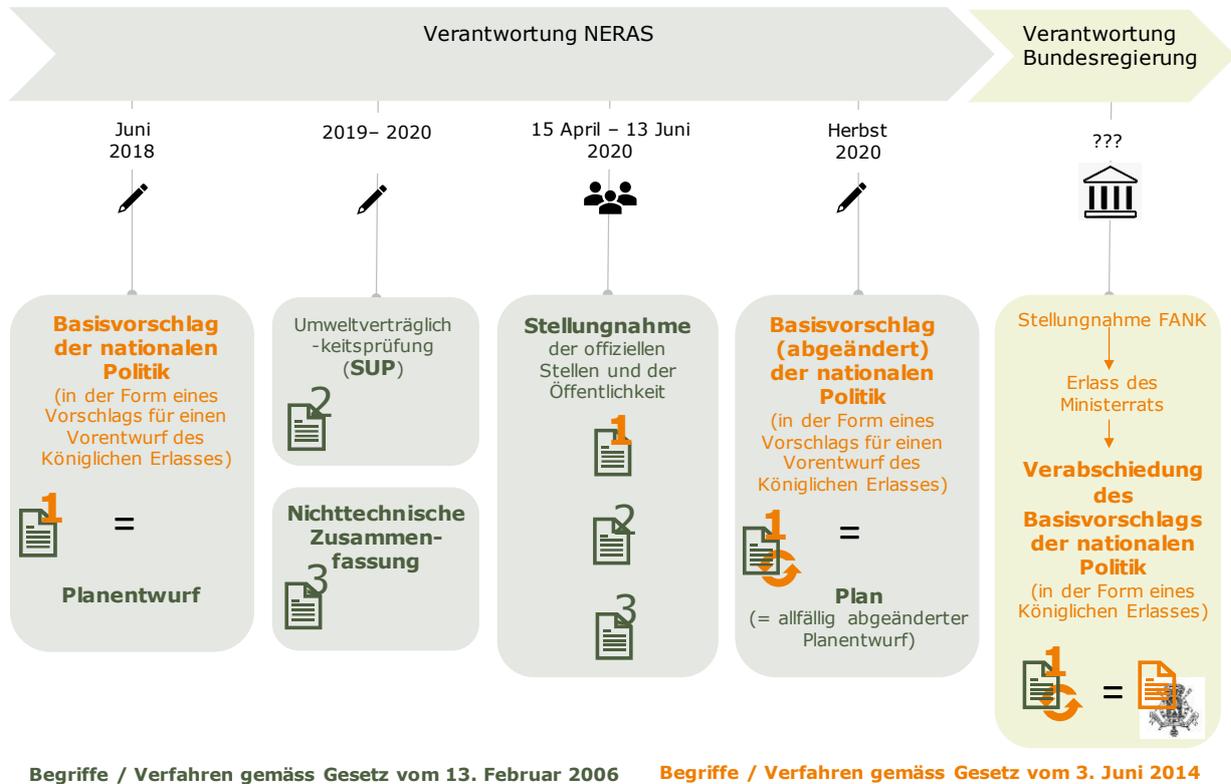


Abbildung 2 – Übersicht über den Zusammenhang zwischen dem Gesetz vom 13. Februar 2006 und dem Gesetz vom 3. Juni 2014 sowie Darstellung der in der SUP verwendeten Schlüsselbegriffe. Dabei wird betont, dass es sich beim eingereichten Vorschlag nicht um einen nationalen Politikvorschlag handelt, sondern um einen *Basisvorschlag* bzw. um den *ersten Teil* einer nationalen Politik. Wie das Gesetz aus dem Jahr 2006 wird auch in der SUP die Bezeichnung „Plan“ durchgehend verwendet. Das Dokument, welches bei den Behörden eingereicht und öffentlich aufgelegt wurde, wird hier als „Planentwurf“ bezeichnet. Die Begriffe „Basisvorschlag der nationalen Politik“ und „Vorentwurf des Königlichen Erlasses“ werden nur verwendet, wenn der Kontext es erfordert.

1.4 Hintergrund zum Vorschlag vom Juni 2018

Der Vorschlag vom Juni 2018 ist das Ergebnis eines langen Prozesses, an dem seit dem ersten formellen Vorschlag der NERAS über die langfristig sichere Entsorgung von konditioniertem hochradioaktivem und/oder langlebigem Abfall verschiedene Aufsichtsbehörden beteiligt waren. Dieser erste Vorschlag – eine 2011 innerhalb der Regierung getroffene Grundsatzentscheidung – wurde nicht angenommen. Aus diesem Vorschlag resultierten die Schlussfolgerungen des Abfallwirtschaftsplans für die langfristig sichere Entsorgung von radioaktivem konditioniertem und/oder langlebigem Abfall der NERAS [NERAS 2011a] (nachfolgend „Plan 2011“) und der Bericht über die Umweltauswirkungen [Resource Analysis 2010] (nachfolgend „SUP 2010“), in Anwendung des Gesetzes vom 13. Februar 2006. Diese beiden Texte wurden zwischen Juni und September 2010 der im genannten Gesetz vorgesehenen Konsultation der offiziellen Stellen und der Öffentlichkeit vorgelegt, und das Verfahren wurde mit der Verabschiedung des Plans 2011 durch den Vorstand der NERAS im September 2011 und der Veröffentlichung der im Gesetz von 2006 vorgesehenen Erklärung und der Zusammenfassung des Plans 2011 [NERAS 2011b, 2011c] am 30. September 2011 im Belgischen Staatsblatt abgeschlossen.

Der Vorschlag vom September 2011 war insofern präziser als der Vorschlag vom Juni 2018, als er die Art des Wirtgesteins für die geologische Endlagerung festlegte: Er empfahl eine Grundsatzentscheidung zugunsten einer „*geologischen Endlagerung in schwach verfestigtem Ton in einer einzigen Anlage auf belgischem Staatsgebiet*“. Er war das Ergebnis eines umfassenden Vergleichs möglicher Entsorgungsoptionen, nicht nur auf der Grundlage ihrer Umweltauswirkungen, sondern auch aus technischer und wissenschaftlicher, ethischer und gesellschaftlicher sowie wirtschaftlicher und finanzieller Sicht. Er stützte sich auf die Ergebnisse aus 20 Jahren Forschung, Entwicklung und Demonstration in Belgien in Sachen geologische Endlagerung und stand im Einklang mit der nationalen Politik ausländischer Staaten. Obwohl bestätigt wurde, dass nichts die Fähigkeit des Boomschen Tons – einem schwach verfestigten Ton – zum Einschluss radioaktiver Stoffe infrage stellte, sah die FANK die Wahl eines Wirtgesteins für die geologische Endlagerung dennoch als übereilt an [FANK 2010]. Die Aufsichtsbehörde der NERAS schloss sich dieser Ansicht im Jahr 2016 an [Peeters & Marghem 2016].

1.5 Notwendigkeit eines neuen SUP-Verfahrens und Erstellung der SUP

Als Verfasser des nationalen Politikvorschlags vom Juni 2018 und in Anwendung des Gesetzes vom 8. August 1980 und des Gesetzes vom 13. Februar 2006 unterzieht die NERAS ihren Vorschlag dem SUP-Verfahren, d. h. insbesondere einer Prüfung seiner Umweltauswirkungen und einer Konsultation der Öffentlichkeit [Marghem & Peeters 2018]. Das Referenzdatum der Erstellung der SUP ist der 31. Dezember 2018.

Da der genaue Standort und das geologische Umfeld noch nicht bekannt sind, hat die Prüfung der Umweltauswirkungen des Plans provisorischen Charakter und beschränkt sich im Wesentlichen auf eine Beschreibung (siehe auch Abschnitt 2.1.1). Diese SUP identifiziert und beschreibt die Auswirkungen, deren Prüfung in der Phase der Verabschiedung des ersten Teils der nationalen Politik für die langfristig sichere Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle nützlich und relevant ist. In späteren Phasen der Festlegung der Politik und der Vorbereitung der Umsetzung werden detailliertere Umweltverträglichkeitsprüfungen erforderlich sein.

Die SUP stützt sich auf eine kleine Auswahl bibliografischer Referenzen. Die Literatur zur Entsorgung radioaktiver Abfälle im Allgemeinen und zur geologischen Endlagerung im Besonderen ist tatsächlich sehr umfangreich: Sie ist das Ergebnis von fünf Jahrzehnten Forschung und Entwicklung, sowohl in Belgien als auch im Ausland. Der NERAS sind jedoch keine ausländischen Beispiele für Umweltverträglichkeitsprüfungen zur geologischen Endlagerung auf *Konzeptstufe* bekannt. Die Prüfungen beziehen sich in der Regel auf Pläne in einem weiteren Stadium der Entwicklung oder auf konkrete Projekte.

1.6 Struktur der SUP

Die SUP ist wie folgt gegliedert:

- Darstellung der technischen und nichttechnischen Aspekte des Planentwurfs, Überlegungen bezüglich des Umfelds, in dem er umgesetzt wird, einen indikativen Zeitplan für die Umsetzung und ein Inventar der Abfälle (Kapitel 2);
- Allgemeine Darstellung der geologischen Endlagerungslösung, einschließlich einer Kurzdarstellung der möglichen Wirtgesteine, sowie einer Zusammenfassung der nationalen Politiken der ausländischen Staaten (Kapitel 3);
- Alternativen, welche untersucht wurden, jedoch keine vernünftige Alternativen zur geologischen Endlagerung darstellen (Kapitel 4);

- Zusammenhänge zwischen dem Plan und anderen relevanten Plänen und Programmen oder gültigen relevanten Politiken (Kapitel 5);
- Überblick über den Inhalt der SUP, wie er sich aus der Anwendung der vom Föderalen Öffentlichen Dienst (FÖD) Volksgesundheit eingerichteten Screening- und Scoping-Verfahren ergibt (Kapitel 6);
- Beschreibung der Referenzsituation – die vorübergehende oberflächennahe Lagerung – und ihrer voraussichtlichen Entwicklung bei Nichtdurchführung des Plans (Kapitel 7);
- Kurzdarstellung des Ansatzes, der für die vorläufige und beschreibende Umweltverträglichkeitsprüfung des Plans verwendet wurde (Kapitel 8);
- Bewertung der Umweltauswirkungen der geologischen Tiefenlagerung in Stollen (Kapitel 9);
- Einige einführende Bemerkungen zur Bewertung der Umweltauswirkungen der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern (Kapitel 10);
- Allgemeine Überlegungen zur Robustheit und Flexibilität (Kapitel 11);
- Abschließende Überlegungen und Empfehlungen, die sich nicht nur auf die Ergebnisse der Umweltverträglichkeitsprüfung, sondern auch auf Überlegungen anderer Natur, wie ethische, gesellschaftliche und finanzielle Überlegungen stützen (Kapitel 12).

Die SUP spricht sämtliche Themen an, die in Anhang II des Gesetzes vom 13. Februar 2006 aufgeführt werden. Sie wird um eine nichttechnische Zusammenfassung ergänzt.

Die SUP enthält im Anhang auch eine Liste von Abkürzungen, Referenzen von Dokumenten, welche eine nationale Politik für die Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle in anderen Ländern festlegen oder auf eine solche Politik verweisen, sowie die Stellungnahme des Beratungsausschusses der SUP zum Entwurf des Verzeichnisses der Umweltauswirkungen und wie sie berücksichtigt wurde.

2 Der Planentwurf

Der Planentwurf geht sowohl auf technische als auch nichttechnische Aspekte ein und beschränkt sich dabei auf das Wesentliche. Im vorliegenden Kapitel werden zuerst die technischen und nichttechnischen Aspekte beschrieben. Es wird festgehalten, dass der Planentwurf den ersten Teil der nationalen Politik für die Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle darstellt (Abschnitt 2.1). Anschliessend wird darauf hingewiesen, dass das Umfeld, in dem der Plan durchgeführt wird, unbekannt ist (Abschnitt 2.2). Ein vorläufiger Zeitplan für die Umsetzung wird angegeben (Abschnitt 2.3). Zum Schluss wird das Inventar der vom Planentwurf betroffenen Abfälle vorgestellt (Abschnitt 2.4).

2.1 Technische und nichttechnische Aspekte

Im Wesentlichen legt der Planentwurf zum einen die Art der zu entwickelnden technischen Lösung für die langfristig sichere Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle fest, die die Grundlage der nationalen Politik für die langfristig sichere Entsorgung dieser Abfälle bildet (Abschnitt 2.1.1), und zum anderen das Verfahren für die schrittweise Verabschiedung der Politik und die Merkmale des festzulegenden Entscheidungsprozesses (Abschnitt 2.1.2). Er enthält weder Angaben zum Endlagerungskonzept oder zur technischen Umsetzung (wie?), noch zum Wirtgestein, zur Endlagertiefe oder zum Standort (wo?), noch zum Zeitpunkt der Betriebsaufnahme (wann?).

Der Planentwurf bezieht sich auf *„feste, konditionierte, hochradioaktive Abfälle und feste, langlebige, niedrig- und mittelradioaktive Abfälle, sowie auf abgebrannte Brennelemente, die als Abfälle deklariert sind, Abfälle, die aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen stammen, überschüssiges spaltbares Material, das als Abfall deklariert ist, und alle anderen radioaktiven Abfälle, deren Eigenschaften mit der geologischen Endlagerung vereinbar sind“* (siehe Abschnitt 2.4 für Fragen zum Abfallinventar).

2.1.1 Technische Lösung, deren Umweltauswirkungen zu prüfen sind: „ein System der geologischen Endlagerung auf belgischem Staatsgebiet“

Der Planentwurf definiert die langfristig sichere Entsorgungslösung für konditionierte hochradioaktive und/oder langlebige Abfälle als *„ein System der geologischen Endlagerung auf belgischem Staatsgebiet“* [NERAS 2018a]. Damit gibt er die Richtung für die Bewältigung der Umweltproblematik vor, die langfristig durch diese Abfälle entstehen. Der Planentwurf legt Folgendes fest

- *„geologische Endlagerung“* als *„die Einlagerung radioaktiver Abfälle in einem Endlager wie definiert in Artikel 179 § 5 des Gesetzes vom 8. August 1980, gelegen in passender Tiefe in einer geologischen Schicht, um die Bevölkerung und die Umwelt gegen die von diesen Abfällen ausgehenden radiologischen Risiken zu schützen“*;
- *„System der geologischen Endlagerung“* als *„die Gesamtheit aus radioaktiven Abfällen, technischen Barrieren – die zusammen das Endlager bilden, gemäß Definition von Artikel 179 § 5 des Gesetzes vom 8. August 1980 – und die damit verbundenen natürliche Barrieren, insbesondere das geologische Wirtgestein und dessen geologische Umgebung“*;

Das Konzept der geologischen Endlagerung umfasst zwei Optionen (siehe Kapitel 3 für weitere Einzelheiten):

- die *geologische Endlagerung in Stollen*, d. h. den Transport von Abfällen und deren Einlagerung in die Stollen einer für diesen Zweck entworfenen und gebauten Anlage in einem Wirtgestein in geeigneter Tiefenlage;
- die *geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern*, d. h. die Einlagerung von Abfällen von der Oberfläche aus in Bohrlöchern, die in das Wirtgestein gebohrt werden, potenziell in einer viel größeren Tiefe als bei der geologischen Endlagerung in Stollen.

Die minimale Endlagerungstiefe wird von der Gefährlichkeit der Abfälle, die sich aus ihrer Aktivität und Halbwertszeit ergibt, bestimmt. Ein Endlager muss die Abfälle einschließen und sie *ausreichend und nachhaltig* von der Biosphäre isolieren. Folglich müssen konditionierte langlebige schwach- und mittelradioaktive Abfälle in geologisch stabilen Schichten in Tiefen von zehn bis Hunderten von Metern, und konditionierte hochradioaktive Abfälle in der Regel in einigen hundert Metern oder mehr endgelagert werden [IAEO 2009]. Diese beiden Abfallkategorien (Abschnitt 2.4.1) können in einer gemeinsamen Endlagerungslösung in einer Tiefe von einigen hundert Metern (unter Berücksichtigung ihrer spezifischen Eigenschaften) oder in getrennten Anlagen, in diesem Fall in vermutlich unterschiedlichen Tiefen, entsorgt werden.

Da der Plan *konzeptioneller* und *allgemeiner* Natur ist, enthält er keinerlei Hinweise auf potenzielle Standorte, wie z. B. Angaben zu geeigneten geologischen Formationen, wie es im Vorschlag von 2011 der Fall war. Dies ist eine bewusste Entscheidung, die im Einklang mit einer kürzlich von der Aufsichtsbehörde der NERAS geäußerten Forderung [Peeters & Marghem 2016] steht und die den Standpunkt der FANK berücksichtigt, dass die Wahl eines Wirtgesteins für die geologische Endlagerung verfrüht ist [FANK 2010, 2014, 2015].

Da der Plan Teil eines hierarchischen Ganzen ist – Optionen zum potenziellen Wirtgestein, zum Standort sowie zum detaillierten Lagerkonzept werden in anderen Dokumenten vorgestellt – wird eine sehr allgemeine, strategische Umweltverträglichkeitsprüfung der technischen Aspekte durchgeführt. Es bestehen tatsächlich grosse Unsicherheiten: räumlich (ober- und unterirdische Umgebung), zeitlich und technisch (laufend in Entwicklung). Dieser Ansatz wird durch Artikel 11 des Gesetzes vom 13. Februar 2006 gebilligt, der Folgendes vorsieht: *„Gehört ein Plan oder Programm zu einer Plan- oder Programmhierarchie, so kann im Umweltbericht zur Vermeidung von Mehrfachprüfungen die Tatsache berücksichtigt werden, dass die Prüfung auf verschiedenen Stufen dieser Hierarchie durchgeführt wird.“*. Laut Anhang II desselben Gesetzes enthält der Umweltbericht *„die Angaben, die vernünftigerweise verlangt werden können, und berücksichtigt dabei den gegenwärtigen Wissensstand und die aktuellen Prüfmethode, den Inhalt und Detaillierungsgrad des Plans oder des Programms und den aktuellen Stand des Entscheidungsprozesses. Ferner wird in Betracht gezogen, dass – um Mehrfachprüfungen zu vermeiden – bestimmte Aspekte am besten später im Prozess geprüft werden sollten“*.

Spezifischere und detailliertere Umweltverträglichkeitsprüfungen werden immer dann durchgeführt, wenn der gesetzliche und regulatorische Rahmen dies erfordert, insbesondere bei der Wahl des Standorts und bei Genehmigungsanträgen für das Lagerkonzept, das letztlich zur Umsetzung vorgeschlagen wird. Letztendlich werden die relevanten Umweltauswirkungen des Plans, wie er durch einen Entwurf konkretisiert werden soll, allesamt im Detail geprüft werden (Abbildung 3).

Da der Plan für die langfristig sichere Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle speziell auf den Schutz von Mensch und Umwelt abzielt und nicht umgesetzt wird, ohne dass nukleare und nichtnukleare Bewilligungen bestätigen, dass die geltenden Normen eingehalten werden, muss auch akzeptiert werden, dass Auswirkungen auf die Umwelt unvermeidlich sind. Diese Auswirkungen sollten der voraussichtlichen Entwicklung bei Nichtdurchführung des Plans gegenübergestellt werden (Abschnitt 7.2). Außerdem sollten sie natürlich minimiert und so weit wie möglich abgemildert werden.

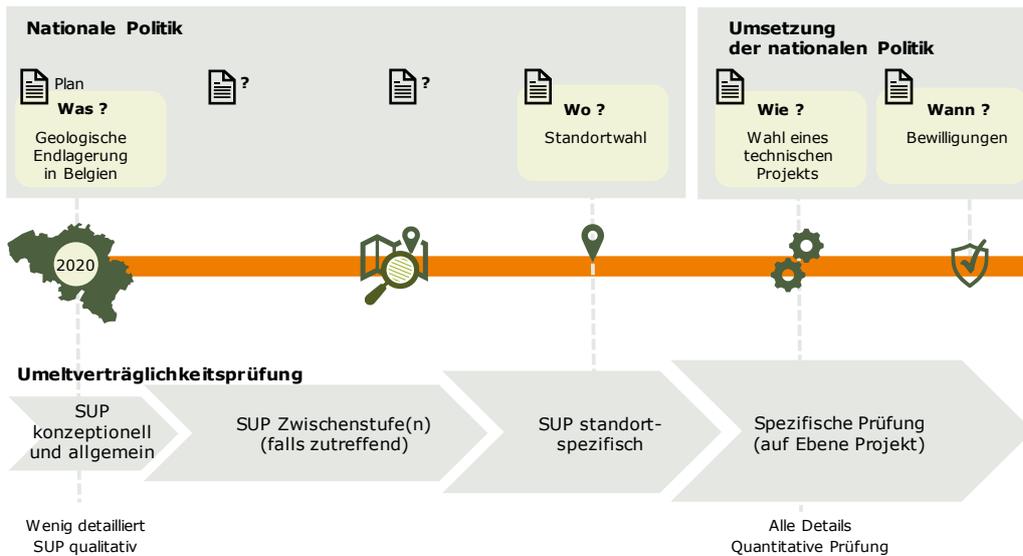


Abbildung 3 – Der schrittweise Ansatz zur Prüfung der Umweltauswirkungen der geologischen Endlagerungslösung (siehe auch Abschnitt 2.1.2).

2.1.2 Nichttechnische Aspekte ohne Umweltauswirkungen: stufenweise Verabschiedung der nationalen Politik und Entscheidungsprozess

Der Planentwurf enthält nichttechnische Aspekte ohne Umweltauswirkungen: Dabei geht es um Modalitäten für die Verabschiedung und Aufrechterhaltung der nationalen Politik und um Bestimmungen für den Entscheidungsprozess, der für die Entwicklung der Entsorgungslösung festgelegt werden soll.

Auf der nichttechnischen Ebene sieht der Planentwurf vor, dass die nationale Politik zur langfristig sicheren Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle *schrittweise* (Abbildung 3) *durch aufeinanderfolgende Königliche Erlasse verabschiedet wird*. Sie enthält mindestens zwei weitere Teile: „die Bestimmung des Entscheidungsprozesses, der mit der Lösungsentwicklung für die langfristige sichere Entsorgung einhergeht, einschließlich der damit einhergehenden wichtigsten Schritte sowie der damit verbundenen Aufgaben und Verantwortlichkeiten“ und zu gegebener Zeit „die Festlegung der Wahl des Standortes/der Standorte, an dem/denen die Lösung für die langfristige sichere Entsorgung umgesetzt wird“. In Anwendung des Gesetzes vom 8. August 1980 muss die nationale Politik zudem die Modalitäten bezüglich der Umkehrbarkeit des Entscheidungsprozesses, bezüglich der Rückholbarkeit der Abfälle und bezüglich der Überwachung des Endlagerungssystems während eines noch festzulegenden Zeitraums enthalten.

Der festzulegende Entscheidungsprozess – der nächste Schritt in der Verabschiedung der nationalen Politik – muss, laut Planentwurf, folgende Eigenschaften aufweisen:

- a) eine schrittweise und dokumentierte Entwicklung, unterbaut mit beweiskräftigen Daten und formeller Sanktionierung der verschiedenen Schritte;
- b) eine begründete Berücksichtigung der verschiedenen Aspekte der Entsorgung radioaktiver Abfälle [...], insbesondere nicht nur der Sicherheitsaspekte, sondern auch der wissenschaftlichen und technischen Aspekte, der sozialen und ethischen Aspekte, der Umweltaspekte, der wirtschaftlichen und finanziellen Aspekte sowie der gesetzlichen und regulatorischen Aspekte, mit der Maßgabe, dass Sicherheits-erwägungen Vorrang haben; diese Aspekte bestimmen zusammen die Machbarkeit der Lösung und bilden die Bedingungen für ihre schrittweise Umsetzung und Optimierung;

- c) *einen anpassungsfähigen Charakter, um den internationalen Entwicklungen und den wissenschaftlichen und technischen Fortschritten, insbesondere in Sachen Endlagerung in tiefen Bohrlöchern und nuklearer Spitzentechnologien, den Ergebnissen von Sicherheitsbewertungen und Prüfungen der Umweltauswirkungen, der Notwendigkeit der Kostenkontrolle sowie den gesellschaftlichen, gesetzlichen und verordnungsrechtlichen Entwicklungen Rechnung tragen zu können;*
- d) *ein partizipativer, ehrlicher und transparenter Charakter, um die gesellschaftliche Zustimmung zu schaffen und zu erhalten, die für die Entwicklung der langfristigen sicheren Entsorgung mit einer oder mehreren informierten und einvernehmlichen lokalen gemeinschaftlichen Einrichtungen und langfristig für die Integration eines Systems der geologischen Endlagerung auf den verschiedenen Ebenen, insbesondere in einer lokalen gemeinschaftlichen Einrichtung, erforderlich ist;*
- e) *die Betrachtung des Systems der geologischen Endlagerung in seiner Gesamtheit;*
- f) *[...] die Aufnahme der Modalitäten zur Weiterverfolgung der nationalen Politik, insbesondere in Bezug auf den Status, die Zusammensetzung, die Aufgaben und die Zuständigkeiten des multidisziplinären Organs gemäß Artikel 179 § 6 Absatz 5 des Gesetzes vom 8. August 1980."*

2.2 Umfeld, in dem der Plan umgesetzt wird

Das Umfeld – ober- und unterirdisch – in dem der Plan umgesetzt wird, ist nicht bekannt, da der Standort der Umsetzung des Plans noch nicht bekannt ist. Oberirdisch ist das gesamte Staatsgebiet potenziell betroffen. In der Praxis erfordert die geologische Endlagerung in Stollen oder tiefen Bohrlöchern ein geologisches Umfeld mit geeigneten Eigenschaften (siehe auch Abschnitt 3.4).

Angesichts des konzeptuellen und allgemeinen Charakters des Plans ist es verfrüht, bestimmte Zonen des belgischen Staatsgebiets auszuschließen. Bei der künftigen Standortwahl werden jedoch mehrere Ausschlusszonen definiert, wie Natura-2000-Gebiete und dicht bevölkerte Gebiete, und Boden- und Wasserschutzanforderungen werden berücksichtigt. Der angemessene Schutz der Wasserressourcen wird ein wesentlicher Punkt sein, dem Aufmerksamkeit zu schenken ist.

2.3 Vorläufiger Zeitplan für die Umsetzung

Trotz dem breiten internationalen Konsens zugunsten der geologischen Endlagerung und die in diesem Sinne von vielen Ländern verabschiedeten nationalen Strategien (Tabelle 3 in Kapitel 3.5), bleibt die Entwicklung und Umsetzung der geologischen Endlagerung in Stollen oder tiefen Bohrlöchern ein langer und schrittweiser Prozess, der mehrere Jahrzehnte dauert und wichtige Entscheidungsschritte (Wahl des Endlagerstandorts, Erteilung von Bewilligungen usw.) umfasst. Angesichts der zu berücksichtigenden Schwierigkeiten und Verzögerungen ist die Herausforderung, die die Entwicklung einer geologischen Endlagerungslösung darstellt, beträchtlich. Diese Entwicklung erfordert daher nachhaltige Anstrengungen, die von einem transparenten Entscheidungsprozess geleitet werden.

Die Verabschiedung des Plans, der als Grundlage der nationalen Politik für die langfristige sichere Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle die geologische Endlagerung auf belgischem Staatsgebiet definiert, *wird unter keinen Umständen zu seiner unmittelbaren Umsetzung führen*. Zwischen dieser Verabschiedung und der Endlagerung der ersten Abfälle werden mehrere Jahrzehnte vergehen (Abbildung 4). Dieser Zeitraum wird unter anderem notwendig sein, um

- durch Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationstätigkeiten noch offene wissenschaftliche und technische Fragen zu beantworten, die für Bewilligungsgesuche erforderlichen Sicherheitsanalysen vorzubereiten und diese Bewilligungen zu erhalten;
- den Prozess und die gesellschaftlichen Partizipationsmethoden aufzubauen und diese Partizipation auf lange Sicht zu etablieren;
- im Rahmen des zu etablierenden Entscheidungsprozesses zu den aufeinanderfolgenden Entscheidungen zu gelangen, die letztlich zur Wahl eines spezifischen Lagerkonzepts führen, das an einem bestimmten Standort umgesetzt werden soll, sowie zu den damit verbundenen Infrastrukturen, Aktivitäten und Projekten, die es ermöglichen sollen, die für das technische Projekt erforderliche gesellschaftliche Akzeptanz zu schaffen und aufrechtzuerhalten (Gesetz vom 8. August 1980, Artikel 179 § 2 Punkt 11);
- die Bau- und Betriebsphase vorzubereiten, einschließlich der Entwicklung der erforderlichen Technologien;
- die konditionierten hochradioaktiven Abfälle – unter Berücksichtigung der Eigenschaften des ausgewählten Wirtgesteins – ausreichend abklingen zu lassen, um sie in ein Endlager überführen zu können;
- die konditionierten Abfälle für die geologische Endlagerung vorzubereiten, sobald die Eigenschaften des Endlagerungssystems bekannt sind. Dies erfordert z. B. im Voraus den Bau von Einrichtungen für ihre Nachkonditionierung in zusätzlichen Verpackungen – Endlagerbehältern – vor der Endlagerung.

Die Jahrzehnte, die zwischen der Verabschiedung des Plans und der Endlagerung der ersten Behälter vergehen werden, werden es auch ermöglichen, gegebenenfalls von wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen zu profitieren und das System somit zu optimieren. Während des Betriebs des geologischen Endlagers können neue Entwicklungen teilweise noch berücksichtigt werden.

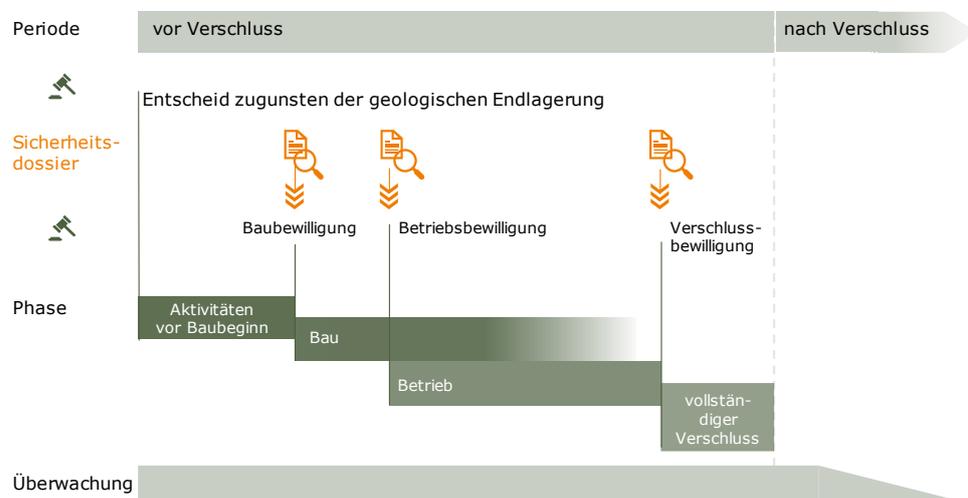


Abbildung 4 – Chronologie der Umsetzung einer geologischen Endlagerung in Stollen, einschließlich der wichtigsten Implementierungsphasen [nach IAEO 2011a].

2.4 Inventar der radioaktiven Abfälle

Der Plan betrifft *konditionierte hochradioaktive und/oder langlebige Abfälle*, einschließlich nicht aufbereiteter, als Abfall deklarerter abgebrannter Brennelemente, Abfälle aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente und nicht verwendetes Spaltmaterial, das als Abfall deklariert wird, sowie alle anderen radioaktiven Abfälle, die für die geologische Endlagerung geeignet sind oder zu diesem Zweck behandelt werden. Konditionierte

hochradioaktive und/oder langlebige Abfälle entsprechen den Abfällen der Kategorie C und B der NERAS-Klassifikation für die langfristig sichere Entsorgung (Abschnitt 2.4.1).

Das Inventar der für die geologische Endlagerung vorgesehenen radioaktiven Abfälle umfasst zwei Komponenten:

- ein *Referenzinventar*, welches regelmäßig aktualisiert und somit als relativ zuverlässig eingestuft wird (Abschnitt 2.4.2);
- ein *potenzielles Zusatzinventar* (Abschnitt 2.4.3).

2.4.1 Klassifizierung der konditionierten radioaktiven Abfälle im Hinblick auf die Entsorgung

Für die langfristig sichere Entsorgung konditionierter radioaktiver Abfälle hat die NERAS eine Klassifizierung mit 3 Kategorien verabschiedet⁴ (Abbildung 5), die gemäß der 1994 von der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) vorgeschlagenen Klassifizierung [IAEO 1994], die ihrerseits im Jahr 2009 überarbeitet wurde [IAEO 2009], definiert werden.

- *Abfälle der Kategorie A* sind konditionierte schwach- und mittelradioaktive kurzlebige Abfälle. Sie enthalten begrenzte Mengen von langlebigen Radionukliden. Sie stellen einige hundert Jahre lang eine Gefahr für Mensch und Umwelt dar. Sie werden für die Endlagerung an der Oberfläche oder die oberflächennahe Endlagerung in geringer Tiefe in Betracht gezogen. Sie entsprechen den schwachaktiven Abfällen der IAEO-Klassifikation von 2009.

Abfälle der Kategorie A enthalten in Belgien weniger als 0,5 % der Gesamtaktivität aller Abfälle. Fast drei Viertel davon sind Stilllegungsabfälle.

- *Abfälle der Kategorie B* sind konditionierte schwach- und mittelradioaktive langlebige Abfälle. Sie enthalten langlebige Radionuklide in Mengen, die für einen sehr langen Zeitraum eine Gefahr darstellen und für einige zehntausend bis hunderttausend Jahre von Mensch und Umwelt isoliert werden müssen. Sie entsprechen den mittelradioaktiven Abfällen der IAEO-Klassifikation von 2009.

Abfälle der Kategorie B enthalten in Belgien ca. 2 % der Gesamtaktivität aller Abfälle und geben keine oder wenig Wärme ab. Sie stammen hauptsächlich aus Forschungsaktivitäten, der Herstellung von Brennelementen, der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente (einschließlich der Pilot-Wiederaufarbeitungsanlage Eurochemic) und aus der Stilllegung von Kernkraftwerken und Anlagen für die Produktion von Brennelementen. Dazu gehören auch nicht wiederaufgearbeitete abgebrannte Brennelemente aus Forschungsreaktoren, die als Abfall deklariert werden und nicht der Kategorie C zugeordnet werden aufgrund deren geringen Wärmeleistung. Sie umfassen insbesondere auch ausgediente umschlossene Strahlenquellen, die als radioaktiver Abfall behandelt werden sollen.

- *Abfälle der Kategorie C* sind konditionierte hochradioaktive Abfälle. Sie enthalten große Mengen an langlebigen Radionukliden und stellen daher, wie die Abfälle der Kategorie B, für einen sehr langen Zeitraum eine Gefahr dar und müssen für einige hunderttausend Jahre – zum Teil bis zu ca. 1 Million Jahre – von Mensch und Umwelt isoliert werden. Sie entsprechen den hochradioaktiven Abfällen der IAEO-Klassifikation von 2009.

Abfälle der Kategorie C enthalten in Belgien ca. 97,5 % der Gesamtaktivität aller Abfälle und geben eine erhebliche Wärmemenge ab. Dazu gehören verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus kommerziellen Kernkraftwerken bzw. aus Forschungsreaktoren sowie nicht wiederaufgearbeitete abgebrannte Brennelemente, die als Abfall deklariert werden, mit Ausnahme von abgebrannten

⁴ Diese Kategorien umfassen nicht die radioaktiven Abfälle in den Umicore-Lagerstätten in Olen (Abschnitt 2.4.3).

Brennstoffen aus Forschungsreaktoren, die aufgrund deren geringen Wärmeleistung als Abfall der Kategorie B eingestuft werden.

	SCHWACH AKTIV	MITTEL AKTIV	HOCH AKTIV
KURZLEBIGE ABFÄLLE	A 	A 	C 
LANGLEBIGE ABFÄLLE	B 	B 	C 

Abbildung 5 – Vereinfachte Darstellung der Klassifizierung der konditionierten radioaktiven Abfälle für ihre langfristig sichere Entsorgung. Abfälle der Kategorie C setzen beträchtliche Wärmemengen frei.

2.4.2 Referenzinventar

Das Referenzinventar ist das Inventar der geschätzten Mengen an bereits vorhandenen und noch zu erwartenden radioaktiven Abfällen der Kategorien B und C [NERAS 2019c]. Es wird regelmäßig von der NERAS auf der Grundlage eigener Kenntnisse und der Deklaration der Abfallerzeuger aktualisiert:

- Kenntnisse, die die NERAS über die Abfälle und die existierenden abgebrannten Brennelemente hat und Schätzung der Abfälle aus zukünftigen Stilllegungen von bestehenden Kernkraftwerken;
- an die NERAS zu übermittelnde Erklärungen der Erzeuger mit ihren Schätzungen der Betriebsabfälle (einschließlich abgebrannte Brennelemente, die als Abfall deklariert werden), Abfälle aus der Wiederaufarbeitung und der Stilllegung.

Fast der gesamte Abfall im Referenzinventar ist *unvermeidbar*, da er bereits in konditionierter oder unkonditionierter Form vorliegt oder „in der Entstehung“ begriffen ist, hauptsächlich in Form von

- Brennelementen, die in die Kerne von Kernreaktoren geladen oder an den Standorten der Kraftwerke gelagert werden;
- Gebäude- und Anlagenteile, wo Aktivitäten durchgeführt werden, die Radioaktivität erzeugen.

Das Referenzinventar der Abfälle der Kategorien B und C, die am 31. Dezember 2018 existieren und voraussichtlich anfallen, ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Es enthält Angaben zu den Mengen und zur Aktivität der Abfälle. Es handelt sich um 10.900 m³ Abfall der Kategorie B⁵, 250 m³ verglaste Abfälle der Kategorie C und 3.800 t SM (Tonne Schwermetall) nicht aufbereitete abgebrannte Brennelemente. Gemäß den Bestimmungen des Gesetzes vom 31. Januar 2003 und dessen Abänderung, werden die kommerziellen Kernreaktoren Doel 1 und 2 sowie Tihange 1 50 Jahre und die anderen kommerziellen Reaktoren 40 Jahre lang betrieben. Das Inventar berücksichtigt die Synatom-Hypothese vom 31. Dezember 2018, nach der etwa 1.000 t SM abgebrannter Brennelemente aus kommerziellen Kernreaktoren wieder aufbereitet werden (einschließlich 66 t SM abgebrannter MOX- oder Mischoxid-Brennelemente, d. h. aller in Belgien vorhandenen MOX), zusätzlich zu den 672 t SM UOX (Uranoxid-

⁵ Insbesondere

- die begrenzten Mengen an radioaktiven Abfällen belgischen Ursprungs, die sich derzeit im Ausland befinden und zurückgeführt werden müssen;
- die ausgedienten versiegelten Quellen;
- die (maximal) 30 m³ an Abfällen der Kategorie B aus dem Großherzogtum Luxemburg, zu deren Übernahme sich Belgien bis 2049 verpflichtet hat [Belgien 2019; Großherzogtum Luxemburg 2018].

Brennelemente), die in der Vergangenheit wiederaufgearbeitet wurden. Das Referenzinventar könnte durch eine Änderung der Annahmen bezüglich des Anteils der abgebrannten Brennelemente aus kommerziellen Kernreaktoren, die noch wiederaufgearbeitet werden, beeinflusst werden.

Tabelle 1 – Referenzinventar am 31. Dezember 2018 (Zahlen gerundet) [NERAS 2019c].

Abfallkategorie	Anzahl der Gebinde oder Bündel	Bestehende Menge	Noch geplante Menge	Inventar insgesamt	Gesamtaktivität [Bq]	
		[Volumen oder t SM]			α	βγ
Kategorie B						
Konditionierte Abfälle	31.250 Gebinde	6.300 m ³	4.600 m ³	10.900 m ³	7 10 ¹⁵	10 ¹⁸
Kategorie C						
Verglaste Abfälle	1.400 Gebinde	70 m ³	180 m ³	250 m ³	9 10 ¹⁷	10 ¹⁹
Abgebrannte Brennelemente der Kernkraftwerke	8.500 Bündel	2.600 t SM	1.200 t SM	3.800 t SM	2 10 ¹⁸	5 10 ¹⁹

2.4.3 Potentielles Zusatzinventar

Das Referenzinventar kann um ein Zusatzinventar von Abfällen ergänzt werden, das aus ähnlichen Abfällen wie den derzeit in den Kategorien B und C enthaltenen Abfällen und/oder anderen Abfallarten als denjenigen dieser beiden Kategorien besteht, die langfristig nicht in einer oberflächennahen Endlageranlage entsorgt werden könnten. Zum Beispiel könnten die folgenden Abfallarten in das potenzielle Zusatzinventar aufgenommen werden:

- konditionierte schwach- und mittelradioaktive, kurzlebige Abfälle, welche aufgrund deren physikalischen und chemischen Eigenschaften die Kriterien der künftigen nuklearen Bewilligung für die Errichtung und den Betrieb des oberflächennahen Endlagers in Dessel nicht erfüllen würden, aber in ein geologisches Endlager – nach allfälliger Behandlung – gebracht werden könnten (Kapitel 3);
- der am stärksten radioaktive Anteil der in den Zwischenlagern von Umicore in Olen enthaltenen radioaktiven Abfälle, die sich vor der Konditionierung auf etwa 10.000 m³ belaufen könnte. Es handelt sich dabei um langlebige Abfälle aus der früheren Radium- und Uranproduktion durch Umicore (ehemals Union Minière) in Olen zwischen 1922 und 1977. Für diese Abfälle wurde die Entsorgungsmethode noch nicht festgelegt;
- der Anteil der NORM-Stoffe (*naturally occurring radioactive materials*), über den die FANK entscheiden wird, welche langfristig als radioaktive Abfälle von der NERAS zu verwalten sind, wahrscheinlich in der Größenordnung von einigen hundert Kubikmetern, bevor er laut der FANK konditioniert wird⁶;
- bestimmte Abfälle aus künftigen Kernanlagen, welche bereits geplant sind, wie die Anlage MYRRHA (Prototyp eines beschleunigergetriebenen Systems), oder noch nicht in Planung sind.

Die Flexibilität einer geologischen Endlagerungslösung in Bezug auf Änderungen im Abfallinventar wird in Kapitel 11 diskutiert, und die Auswirkungen solcher Änderungen auf die Umweltverträglichkeitsprüfung werden in Abschnitt 9.4 erörtert.

⁶ Natürliche radioaktive, langlebige Materialien werden in einigen industriellen Verfahren aus Gründen verwendet, die nichts mit ihren radioaktiven Eigenschaften zu tun haben. Diese Verfahren können zu einer Konzentration der natürlichen Radioaktivität in bestimmten Rückständen führen. Diese Rückstände werden gegenwärtig an den Standorten der Hersteller und in einigen wenigen bekannten, kontrollierten Deponien gelagert.

3 Geologische Endlagerung: allgemeine Einführung

Die international allgemein akzeptierte und angewandte Strategie für den Umgang mit radioaktiven Abfällen ist die Strategie der *Konzentration* und des *Einschlusses* der Abfälle mit *Isolierung* von der Biosphäre, im Gegensatz zu einer Strategie der Verdünnung und Dispersion der radioaktiven Stoffe in der Umwelt.

Laut der IAEA [IAEO 2011b] „sind die spezifischen Ziele der Endlagerung:

- a) der Einschluss des Abfalls;
- b) die Isolation der Abfälle von der zugänglichen Biosphäre und die deutliche Reduzierung der Wahrscheinlichkeit und aller möglichen Folgen eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens;
- c) die Vermeidung, Verringerung und Verzögerung der Migration von Radionukliden aus dem Abfall in die zugängliche Biosphäre zu jeder Zeit;
- d) die Sicherstellung, dass die Mengen an Radionukliden, die die zugängliche Biosphäre als Folge einer Migration aus dem Endlager erreichen, so niedrig sind, dass die möglichen radiologischen Auswirkungen jederzeit auf einem akzeptablen niedrigen Niveau liegen.“ [NERAS-Übersetzung; Original auf Französisch und Englisch verfügbar]

Die Konzeption und Entwicklung von Lösungen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle basiert in allen betroffenen Ländern stets auf einem Systemansatz, der ein Multibarrierenkonzept verwendet (Abbildung 6): Die Lagersysteme, insbesondere ihre künstlichen oder „technischen“ Barrieren (Abfallverpackungen und Barrieren des Lagers), werden entsprechend den Eigenschaften des Wirtgesteins und der einzuschliessenden und zu isolierenden Abfälle konzipiert, sodass die „natürlichen Barrieren + technischen Barrieren + Abfälle“ in der Lage sind, einen passiven Schutz für Mensch und Umwelt zu gewährleisten, durch den *Einschluss* der Radionuklide und der chemischen Schadstoffe, der *Verzögerung* von deren Migration in die Biosphäre und der *Isolierung* des Endlagers von der Biosphäre.

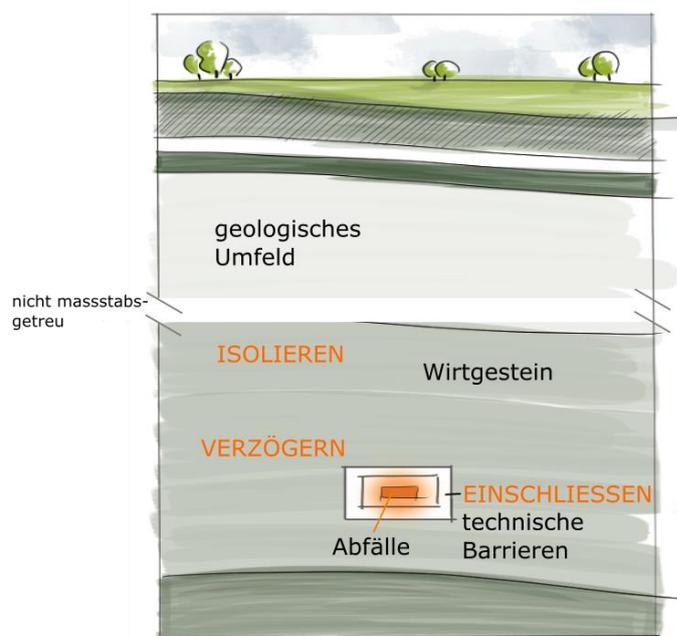


Abbildung 6 – Darstellung des Multibarrierenkonzepts bei der geologischen Endlagerung. Ein geologisches Tiefenlager schliesst Radionuklide und chemische Schadstoffe ein, isoliert diese von der Biosphäre und verzögert ihre Migration zur Biosphäre.

Die geologische Endlagerung ist

- laut internationalem Rahmen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle (Kasten 1 in Abschnitt 1.1) [IAEO 1997; Europäischer Rat 2011],
- laut internationalem Konsens [beispielsweise NEA 1995, 2008; IAEO 2003; Blue Ribbon Commission 2012; CoRWM 2018],
- und laut der FANK [FANK 2015],

die einzige mögliche Lösung für die langfristig sichere Entsorgung konditionierter hochradioaktiver Abfälle (Abfälle der Kategorie C). Dies ist auch die Position der NERAS: Nur eine geologische Endlagerungslösung kann so konzipiert und umgesetzt werden, dass der Schutz von Mensch und Umwelt so lange wie erforderlich gewährleistet ist. Sobald die Anlage vollständig verschlossen ist, bietet das Endlagerungssystem eine passive Sicherheit: Es erfordert kein menschliches Eingreifen mehr und belastet daher nicht die zukünftigen Generationen. Die Restaktivität, die nach einigen hunderttausend Jahren infolge der natürlichen Entwicklung eines gut konzipierten und umgesetzten Endlagerungssystems in die Umwelt freigesetzt wird, muss vernachlässigbar sein. Konditionierte langlebige Abfälle der Kategorie B müssen ebenfalls geologisch endgelagert werden, jedoch in einer potenziell geringeren Tiefe als konditionierte hochradioaktive Abfälle.

In Anwendung des Gesetzes vom 8. August 1980 muss die geologische Endlagerungslösung später die Modalitäten bezüglich der Umkehrbarkeit des Entscheidungsprozesses, bezüglich der Rückholbarkeit der Abfälle und bezüglich der Überwachung des Endlagerungssystems während eines noch festzulegenden Zeitraums zusammenführen.

Die geologische Endlagerung kann in zwei Optionen unterteilt werden: die geologische Endlagerung in Stollen (Abschnitt 3.1) und die geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern (Abschnitt 3.2), die im Hinblick auf verschiedene Aspekte verglichen werden (Abschnitt 3.3). Viele Länder haben die geologische Endlagerung bereits als nationale Politik für die Entsorgung ihrer konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle angenommen (Abschnitt 3.5). Die im Allgemeinen ausgewählten geologischen Formationen sind Evaporitformationen, kristalline Gesteine oder Tongesteinsformationen (Abschnitt 3.4).

3.1 Geologische Endlagerung in Stollen

Bei der geologischen Endlagerung in Stollen werden konditionierte radioaktive Abfälle in einer speziell konzipierten Anlage in einem geeigneten Wirtgestein in geeigneter Tiefe gelagert. Laut der IAEO müssen konditionierte schwach- und mittelradioaktive langlebige Abfälle in Tiefen von einigen zehn bis hunderten von Metern, und konditionierte hochradioaktive Abfälle in der Regel in stabilen geologischen Formationen in einigen hundert Metern Tiefe oder mehr endgelagert werden [IAEO 2009]. In der Praxis liegen die Tiefen, die für die geologische Endlagerung von konditionierten hochradioaktiven Abfällen, oder auch mit konditionierten schwach- und mittelradioaktiven langlebigen Abfällen, in Stollen in Betracht gezogen werden, normalerweise in der Größenordnung von 400 bis 500 Metern, können aber je nach geologischem Umfeld und erwarteter Entwicklung niedriger sein. Sie liegen nie tiefer als 1.000 Meter, unabhängig vom gewählten Wirtgestein. Tatsächlich wird die zunehmende Tiefe und damit auch die zunehmenden technischen Schwierigkeiten, Betriebsrisiken und Kosten nicht durch eine deutliche Erhöhung des langfristigen Schutzes von Mensch und Umwelt aufgewogen.

Die geologische Endlagerung in Stollen erfordert, zusätzlich zu der Untertageanlage, oberflächennahe Anlagen sowie Zugangsschächte und ggf. eine oder mehrere Zugangsrampen (siehe Abbildung 13 in Abschnitt 9.1). Eine industrielle Pilotphase, insbesondere zur Erprobung der Handhabung von Dummy-Endlagergebinden und Überwachungstechnologien unter realen Bedingungen, kann der Endlagerung der Abfälle vorausgehen. Sobald alle Abfälle in die Anlage eingebracht wurden, kann die Anlage vollständig – sofort oder nach einer gewissen Zeit – in einem Schritt oder in mehreren Schritten verschlossen werden, ohne dass

ein verzögerter Verschluss die Sicherheit und die Sicherung gefährden würde⁷ (siehe Abschnitt 9.1.3 für einen Überblick über die wichtigsten Umsetzungsphasen und die damit verbundenen Aktivitäten). Die stillgelegte Anlage wird zu Beginn im Prinzip überwacht: Die Überwachungsmaßnahmen dürfen die Gesamtsicherheit des Systems nicht beeinträchtigen. Die oberflächennahen Anlagen können ganz oder teilweise rückgebaut werden, um den Standort in einen nicht oder weniger bebauten Zustand zurückzusetzen.

Alle geologischen Endlagerungssysteme, die weltweit in Betrieb, im Bau oder in Planung sind, basieren auf den von der IAEO festgelegten Endlagerungszielen (siehe Einleitung zum Kapitel). Die Entwicklung eines geologischen Endlagers in einem bestimmten Wirtgestein erfordert einen Systemansatz, der die Eigenschaften des endzulagernden Abfalls und die ihn umgebenden technischen und natürlichen Barrieren (Wirtgestein und geologische Umgebung), berücksichtigt, wobei die technischen Barrieren auf die Eigenschaften des Abfalls und der natürlichen Barrieren abgestimmt werden. Aufgrund der Besonderheiten der Abfälle und der verschiedenen Wirtgesteine (Abbildung 7 und Abschnitt 3.4.1) und ihrer jeweiligen geologischen Umgebung ist bzw. wird dieses geologische Endlagerungssystem daher einzigartig sein.

- Die *Wirtgesteine* haben jeweils eine große Bandbreite an Eigenschaften. Je nach den im Untergrund der Länder vorhandenen Formationen können sich eine oder mehrere Typen von Wirtgesteinen als geeignet für die geologische Endlagerung erweisen.
- *Technische Barrieren* können aus verschiedenen Arten von Materialien wie Metall, Beton und natürlichen Materialien wie Bentonit bestehen. Ihre Wahl zielt darauf ab, sowohl die Betriebs- als auch die Langzeitsicherheit zu gewährleisten. Der Wunsch, den Abfall nach dem vollständigen Verschluss der Anlage für eine bestimmte Zeitspanne zurückholen zu können, kann auch die Auswahl bestimmter technischer Barrieren beeinflussen.
- Die *Eigenschaften der Abfälle*, wie z. B. die Tatsache, ob sie Wärme abgeben oder nicht, oder die Art ihrer Konditionierungsmatrix, beeinflussen die Konzeption und Umsetzung der Endlager.

Zahlreiche Länder haben bereits eine nationale Politik zugunsten der geologischen Endlagerung in Stollen für die langfristig sichere Entsorgung ihrer konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle angenommen und einige Anlagen sind in Evaporit- und kristallinen Gesteinen in Betrieb (Abschnitt 3.5). Der Bau von Felslabors in Tonformationen (in Belgien, Frankreich und der Schweiz) sowie Versuche im großen Maßstab (z. B. Ausbruch eines Lagerstollens mithilfe eines industriellen Verfahrens) haben die Machbarkeit des Baus eines Endlagers in Stollen in solchen Formationen demonstriert. Im Allgemeinen sind Felslabors, die in potentiellen Wirtgesteinen gebaut werden, wertvolle Instrumente für deren Charakterisierung, die Durchführung von Langzeitexperimenten und Demonstrationsexperimenten in situ und in repräsentativem Maßstab sowie zum Testen und Entwickeln von Überwachungsinstrumenten. Felslabors sind zudem Instrumente für die Kommunikation mit der Öffentlichkeit und den Transfer von Wissen zwischen Spezialisten.

Die seit den 1970er Jahren in Belgien durchgeführten Studien über die geologische Endlagerung in Stollen zeigen, dass in Belgien schwach verfestigte Tongesteinsformationen vorhanden sind, die ein geologisches Endlager beherbergen könnten (siehe auch Abschnitt 3.4.2.3) [NERAS 1989, 2001a, 2001b, 2011a, 2013]. Die wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse wurden mehrfach von belgischen und ausländischen Experten bewertet [NEA 2003; Olsthoorn 2011], und es wurden keine wesentlichen Mängel festgestellt: schwach verfestigte Tongesteinsformationen haben eine gute Kapazität, die Freisetzung von

⁷ Sicherheit: Schutz von Mensch und Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlung und Sicherheit der Anlagen und Aktivitäten, von denen die Strahlenrisiken ausgehen.
Sicherung: Verhütung, Aufdeckung von und Reaktion auf Diebstahl, Sabotage, unbefugtem/unbefugten Zugang, illegale(r) Weitergabe oder andere(n) böswillige(n) Handlungen im Zusammenhang mit nuklearen Materialien oder anderen radioaktiven Stoffen und damit verbundenen Einrichtungen.

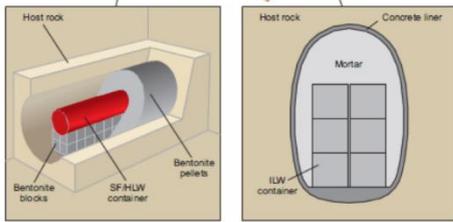
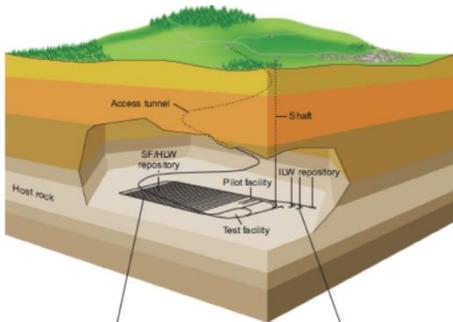
Radionukliden und chemischen Schadstoffen in die Biosphäre zu verzögern und die Abfälle zu isolieren, und es scheint machbar zu sein, in solchen Formationen eine geologische Endlagerstätte mit industriellen Methoden zu errichten. Die Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsaktivitäten werden fortgesetzt, um die Kenntnisse zu vervollständigen und zu verfeinern. Insbesondere das unterirdische Forschungslabor in Mol, das in etwa 220 Meter Tiefe in schwach verfestigtem Ton errichtet wurde, beherbergt seit 2014 das Heizexperiment PRACLAY, das bislang zeigt, dass die Eigenschaften von Ton, die günstig für den Einschluss konditionierter hochradioaktiver Abfälle sind, durch die Wärme nicht wesentlich beeinträchtigt werden. Das unterirdische Labor ist zudem von der IAEO als Exzellenzzentrum für Endlagerungstechnologien und die Ausbildung von Wissenschaftlern anerkannt. Es könnten auch andere Arten von Formationen als schwach verfestigter Ton in Belgien als Wirtgesteine für die geologische Endlagerung in Stollen in Betracht gezogen werden (Abschnitt 3.4.2).

Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsstudien (und die Aufrechterhaltung von Kompetenzen und Qualifikationen) profitieren vom Austausch und der Zusammenarbeit mit dem Ausland (internationale Organisationen, Agenturen für die Behandlung radioaktiver Abfälle, Forschungszentren usw.). Dieser Austausch und diese Zusammenarbeit ermöglichen die gemeinsame Nutzung von Wissen, Ressourcen und Regeln für bewährte Praktiken.

Obwohl der Plan die geologische Endlagerung *auf belgischem Staatsgebiet* in Übereinstimmung mit den Bestimmungen des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens (Abschnitt 1.1) als Lösung vorschlägt, schließt dieser Rahmen nicht aus, dass die geologische Endlagerung in Stollen – dies ist ein Vorschlag, der mitunter erwähnt wird – in einem multinationalen Kontext in Betracht gezogen werden könnte, bei dem mehrere Länder sich dieselbe Anlage teilen würden. Eine solche multinationale Anlage würde wahrscheinlich *sowohl in Belgien als auch im Ausland* umgesetzt werden. Dies könnte im Rahmen eines Bewirtschaftungsabkommens zwischen den betroffenen Ländern geschehen.

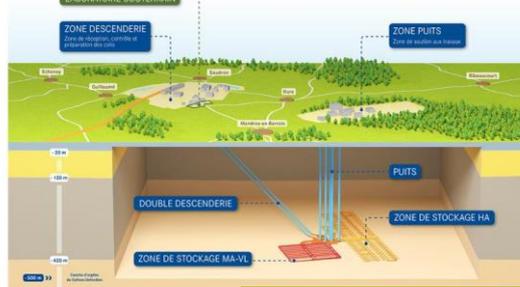
Die Variante „multinationale geologische Endlagerung in Stollen“ der Option „geologische Endlagerung in Stollen in Belgien“ wird der Vollständigkeit halber in Kasten 2 dargestellt. Sie hätte die gleiche Art von Umweltauswirkungen wie eine nationale Endlagerungslösung, die auf belgischem Staatsgebiet umgesetzt wird, jedoch mit noch mehr unbekanntem Faktoren, da das geografische Gebiet der möglichen Umsetzung dann weit über die belgischen Grenzen hinausgehen würde und das Abfallinventar unbekannt wäre, da es ausländische Abfälle aus nicht identifizierten Partnerländern einschließen würde.

Schweiz, Tongestein, Kat. A, B und C



Quelle: Nagra

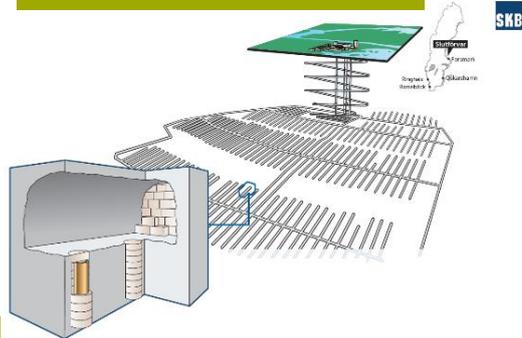
LE PROJET DE STOCKAGE CIGÉO



Quelle: Andra

Frankreich, Tongestein, Kat. B und C

Schweden, Kristallingestein, Kat. C



Deutschland, Kalkstein von Tonschichten überdeckt, Kat. A und B, im Bau



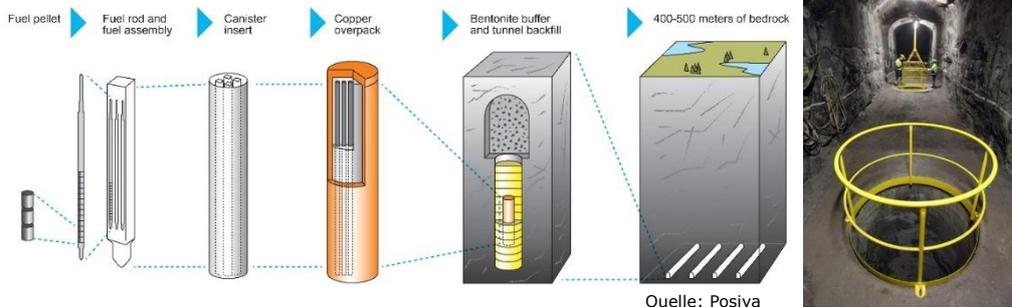
Quelle: BGE

Ungarn, Kristallingestein, Kat. A und B, in Betrieb



Quelle: Duna-Dráva

Finnland, Kristallingestein, Kat. C, im Bau



Quelle: Posiva

Abbildung 7 – Geologische Endlagerung in Stollen im Ausland (siehe auch Abschnitt 2.4.1 für die Klassifizierung der radioaktiven Abfälle und Tabelle 3 in Abschnitt 3.5 für einen breiteren Überblick über die Situation im Ausland).

Kasten 2 – Multinationale geologische Endlagerung in Stollen

Das Konzept der multinationalen oder gemeinsamen geologischen Endlagerung in Stollen ist seit Mitte der siebziger Jahre auf internationaler Ebene Gegenstand von Diskussionen unter und von Arbeiten von Experten und erregt wachsendes Interesse. Diese Entwicklung entspricht dem Gemeinsamen Abkommen und der Richtlinie 2011/70/Euratom: Die Vertragsparteien des Übereinkommens und die Mitgliedstaaten der Europäischen Union bekräftigen zwar, dass die radioaktiven Abfälle in dem Staat, in dem sie entstanden sind, endgelagert werden sollen, akzeptieren jedoch, dass die gemeinsame Nutzung von Anlagen zur Endlagerung unter bestimmten Bedingungen, die insbesondere ein hohes Sicherheitsniveau gewährleisten sollen, für bestimmte Länder eine brauchbare Option sein könnte. Die Endlagerung, insbesondere die geologische Endlagerung in Stollen, erfordert beträchtliche finanzielle Mittel, außergewöhnliche Fachkenntnisse und eine günstige natürliche Umgebung, was insbesondere für (kleine) Länder mit einem reduzierten Inventar radioaktiver Abfälle schwierig zu erfüllen sein kann: Denn die Anstrengungen, insbesondere im Bereich der Forschung und Entwicklung und der Auswahl eines Standortes, sind tatsächlich weitgehend unabhängig vom Inventar der zu bewirtschaftenden Abfälle. Die Entwicklung der Arbeiten für das Konzept der gemeinsamen geologischen Endlagerung seit den 1970er Jahren wurde von der NERAS [NERAS 2019d] zusammengefasst.

In der Praxis kommen die Initiativen für die gemeinsame geologische Endlagerung in Stollen nur sehr langsam voran: Auch wenn die durch solche Anlagen ermöglichten Größenvorteile attraktiv sein können, geht die Herausforderung bei der Entwicklung und Umsetzung über die Entwicklung und Umsetzung nationaler Anlagen für die Endlagerung hinaus: Insbesondere die politische und gesellschaftliche Akzeptanz für die Endlagerung radioaktiver Abfälle ausländischer Herkunft stellt eine noch größere Herausforderung als die Akzeptanz für die Endlagerung inländischer Abfälle dar. Trotz anhaltender Bemühungen sind keine konkreten Aussichten auf eine gemeinsame geologische Endlagerung in Stollen in Sicht.

- Die Mehrheit der Initiativen kommerzieller Art, bei denen ein Gastland vorschlägt, sein Abfallinventar von zur Endlagerung bestimmten Abfällen um importierte Abfälle zu ergänzen, wurden vor allem aufgrund politischer und gesellschaftlicher Widerstände vorzeitig aufgegeben. Die einzige Initiative dieser Art, die in Umsetzung ist, ist eine russische Initiative zur Rücknahme abgebrannter Brennelemente sowjetischer/russischer Herkunft, die für Belgien nicht zugänglich sind.
- Vergangene und laufende Initiativen, die auf kooperative Szenarien abzielen, bei denen die Partnerländer ein Programm für die gemeinsame Endlagerung entwickeln, das in einem von ihnen umgesetzt werden soll, sind konzeptuelle Studien. Diese Arbeit wird hauptsächlich im Rahmen der Internationalen Atomenergie-Organisation und über eine Arbeitsgruppe, die *European Repository Development Organisation Working Group* (ERDO-WG), die 2009 gegründet wurde und am 31. Dezember 2018 aus den Ländern Dänemark, Italien, den Niederlanden, Norwegen, Polen und Slowenien besteht. Sie wird von der *Association for Regional and International Underground Storage* (Arius) unterstützt, die 2002 gegründet wurde, um Konzepte für sozialverträgliche internationale und regionale Lösungen für die sichere, umweltverträgliche und wirtschaftliche Lagerung und Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle zu fördern. Die konkreten Fortschritte gehen langsam voran: die Gründung einer ERDO – einer Organisation für die Entwicklung einer europäischen Endlagerung –, die bis Mitte 2013 geplant war, ist immer noch nicht erfolgt und eine Neudefinition der Prioritäten der ERDO-WG lässt vermuten, dass auch in den kommenden Jahren keine ERDO gegründet werden wird.

In Belgien war die Arbeitshypothese für die geologische Endlagerung von konditioniertem hochradioaktivem und/oder langlebigem Abfall immer die einer nationalen Lösung auf nationalem Staatsgebiet, im Gegensatz zu einer gemeinsamen Lösung für belgische Abfälle und erhebliche ausländische Abfallmengen, die auf belgischem Staatsgebiet oder im Ausland umgesetzt werden könnte. Erst Anfang der 2000er Jahre zeigte Belgien Interesse an einer gemeinsamen Endlagerungslösung, indem es sich äußerst kurz über die NERAS an der Arbeit der Vereinigung ARIUS und an dem von ARIUS vorgeschlagenen internationalen Pilotprojekt SAPIERR (*Support Action: Pilot Initiative for European Regional Repositories*) beteiligte, das die Mitgliedstaaten der Europäischen Union, die ein Interesse an der Prüfung der Möglichkeiten für die gemeinsame Lagerung und Endlagerung von konditionierten mittel- und hochradioaktiven Abfällen haben, zusammenbringen sollte. Seit 2005 sind weder die NERAS noch Belgien mehr an einer der Initiativen, die die Entwicklung eines gemeinsamen Endlagerungskonzepts unterstützen, beteiligt – weder aktiv noch als Beobachter.

Die verschiedenen Vorschläge, die die NERAS ihrer Aufsichtsbehörde im Zeitraum 2011–2018 im Hinblick auf die Schaffung der Grundlage der nationalen Politik für die langfristig sichere Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle unterbreitet hat, basierten alle auf der Lösung der geologischen Endlagerung auf nationalem Gebiet und enthielten entweder eine Verpflichtung oder einen Vorschlag, dass die NERAS die internationalen Entwicklungen in Bezug auf die Möglichkeiten der gemeinsamen Nutzung von Anlagen zur geologischen Endlagerung durch mehrere Länder verfolgen sollte, um die möglichen Auswirkungen solcher Initiativen auf das belgische Programm der geologischen Endlagerung zu ermitteln.

Die mögliche Entscheidung, Belgien zu einem so genannten *Dual-Track*-Ansatz zu verpflichten, d. h. einem Ansatz, bei dem ein Land, das auf eine gemeinsame Endlagerungslösung hinarbeitet, parallel dazu ein Entsorgungsprogramm entwickelt, das zu einer Lösung für seine eigenen Abfälle auf seinem Staatsgebiet führen könnte, ist politischer Natur. Die einzige Initiative, die gegenwärtig ein praktisches Interesse für Belgien darstellen dürfte, ist die ERDO-WG. Die Teilnahme an der Arbeitsgruppe würde Belgien jedoch nicht davon befreien, weiterhin in sein nationales Endlagerprogramm zu investieren, bis die gemeinsame Endlagerung im Ausland oder in Belgien in Betrieb genommen wird. Gemäß internationalem Konsens müssen Länder, die an einer Initiative zur Entwicklung einer gemeinsamen Endlagerungslösung beteiligt sind, ihr eigenes Fachwissen weiterentwickeln und an einer nationalen Auswechlösung arbeiten. Im Übrigen gibt es auch keine Hinweise darauf, dass eine gemeinsame Endlagerung schneller erreicht werden könnte als eine nationale Endlagerung. Die Realisierbarkeit einer solchen Lösung auf europäischer Ebene wird außerdem dadurch eingeschränkt, dass etwa die Hälfte der europäischen Länder die Einfuhr radioaktiver Abfälle in ihr Staatsgebiet im Hinblick auf deren Endlagerung verbietet [Europäische Kommission 2019].

Da eine geteilte Endlagerung und eine nationale Endlagerung konzeptuell betrachtet gleichwertig sind, sind auch ihre Umweltauswirkungen gleichartig. Die beschreibende Umweltverträglichkeitsprüfung der gemeinsamen Endlagerung umfasst viele unbekannte Faktoren, da nicht nur der Standort, sondern auch das Abfallinventar unbekannt sind. Die beschreibende Umweltverträglichkeitsprüfung einer solchen Endlagerung im Gegensatz zu einer von den Partnerländern selbst umgesetzten Endlagerung wird in Abschnitt 9.6 skizziert.

3.2 Geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern

Auf internationaler Ebene waren und sind die Arbeiten zur geologischen Endlagerung von konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen in *tiefen*⁸ Bohrlöchern – im Wesentlichen konzeptionelle Studien –, von denen die ersten mehrere Jahrzehnte zurückliegen, im Vergleich zu den Arbeiten zur geologischen Endlagerung in Stollen bis heute marginal. In den letzten Jahren wurden diese Arbeiten hauptsächlich von Deutschland, Südkorea und den Vereinigten Staaten durchgeführt. Obwohl sich das Thema weiterentwickelt, sind die Konzepte für die geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern noch weit weniger ausgereift als die Konzepte für die geologische Endlagerung in Stollen, sowohl was die einzusetzenden Technologien als auch die wissenschaftliche Fähigkeit betrifft, nachzuweisen, dass solche Endlagerungssysteme in der Lage sind, Mensch und Umwelt so lange wie erforderlich vor den Risiken der Abfälle zu schützen.

Die NERAS hat in Sachen geologischer Endlagerung in tiefen Bohrlöchern keine eigenen Kenntnisse, geschweige denn Forschungs-, Entwicklungs- oder Demonstrationserfahrung entwickelt. Sie hat eine bibliografische Studie über das Thema durchführen lassen [NERAS 2019b], die es gemeinsam mit einigen anderen neueren Veröffentlichungen [z. B. Bracke 2017; Chapman 2019; CoRWM 2019; Muller *et al.* 2019] ermöglicht, die folgende allgemeine Zusammenfassung aufzustellen. Sie besteht aus einer Kurzbeschreibung des Konzept der tiefen Bohrlöcher (Abschnitt 3.2.1), ihrer Vor- und Nachteile und der damit verbundenen Herausforderungen (Abschnitt 3.2.2).

3.2.1 Tiefe Bohrlöcher

Bis vor kurzem bezeichnete der Begriff der geologischen Endlagerung in tiefen Bohrlöchern nur die Endlagerung in tiefen *vertikalen* Bohrlöchern. Seit 2016 hat das amerikanische Privatunternehmen *Deep Isolation* eine in der Erdölwirtschaft gängige Technologie – die sogenannten „*abgelenkten*“ tiefen Bohrlöcher entwickelt, deren unterer Teil horizontal (unter der Erdoberfläche) verläuft – um ihn an die geologische Endlagerung anzupassen.

Die geologische Endlagerung in vertikalen tiefen Bohrlöchern besteht konzeptionell aus dem „Stapeln“ von konditionierten radioaktiven Abfallgebinden in engen Bohrlöchern, mit einer Tiefe von mehr als 1.000 Meter (Abbildung 8). Die meisten Studien erwägen die Endlagerung der Abfälle in bis zu 5 bis 6 Kilometer tiefen Bohrlöchern. Der Endlagerungsbereich, der sich im untersten Teil der Bohrlöcher befindet, kann bis zu 2 Kilometer Länge aufweisen und einen Durchmesser von 40 bis 90 cm haben. Der Ringraum zwischen der Bohrlochauskleidung und der Umgebung und der Ringraum zwischen den Abfallgebinden und der Bohrlochauskleidung können mit Materialien gefüllt werden, die so ausgewählt wurden, dass die bestmögliche Barrierenwirkung des Endlagersystems gewährleistet ist. Horizontale „Stopfen“ werden in regelmäßigen Abständen im Endlagerungsbereich angebracht, um sowohl den vertikalen Druck auf die Abfallgebinde als auch das Risiko zu verringern, dass Radionuklide und chemische Schadstoffe an den Wänden des Bohrlochs nach oben migrieren. Das Segment des

⁸ Nicht zu verwechseln mit der geologischen Endlagerung in einfachen Bohrlöchern. Diese betrifft die Endlagerung in Bohrlöchern in Tiefen von einigen Dutzend bis zu einigen hundert Metern und ist in der Regel für versiegelte mittlradioaktive Quellen vorgesehen.

Bohrlochs oberhalb des Endlagerungsbereichs ist auf angemessene Art und Weise versiegelt. Nach dem vollständigen Verschluss des Bohrlochs schliesst das System die radioaktiven Abfälle ein und isoliert sie auf sichere und passive Art so lange, wie es – zumindest theoretisch – notwendig ist: Die Sicherheit von tiefen Bohrlochern lässt sich noch nicht überzeugend nachweisen. Obwohl eine begrenzte Überwachung möglich ist, erfolgt sie aufgrund der Tiefe der Bohrlocher zwangsläufig sehr indirekt. Das Konzept der geologischen Endlagerung in tiefen Bohrlochern eignet sich für den modularen Betrieb in aufeinanderfolgenden Bohrlochern. Nach Schließung des letzten Bohrlochs können die Oberflächenanlagen ganz oder teilweise rückgebaut werden, um den Standort in einen nicht oder weniger bebauten Zustand zurückzusetzen.

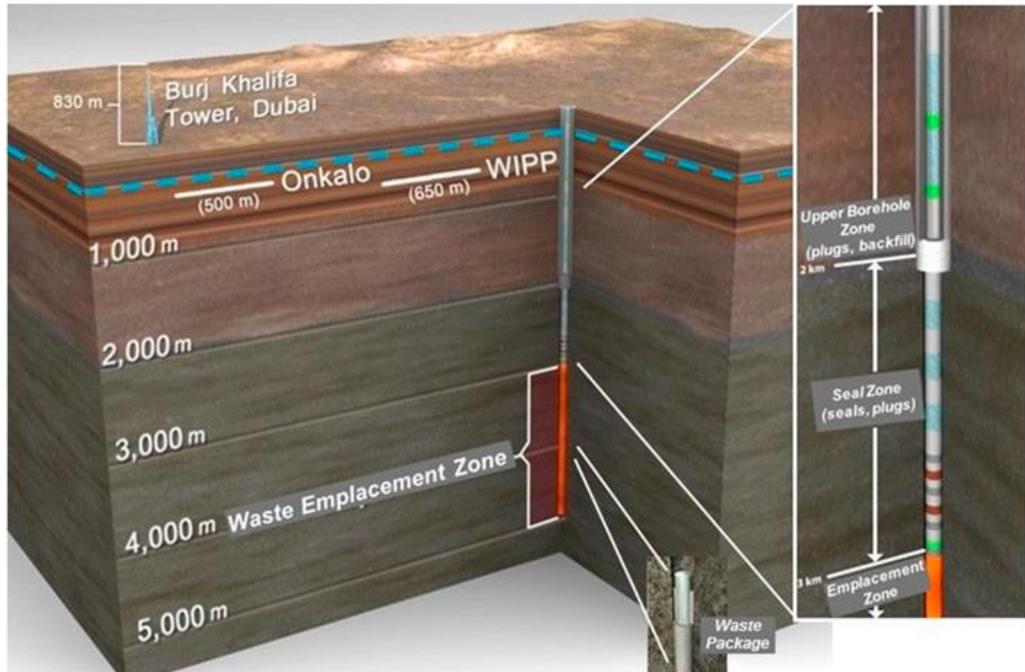


Abbildung 8 – Typische Darstellung der geologischen Endlagerung in tiefen vertikalen Bohrlochern [Freeze et al. 2019].

Die geologische Endlagerung von konditioniertem hochradioaktivem und/oder langlebigem Abfall wurde noch nie in tiefen vertikalen Bohrlochern umgesetzt. Es scheint möglich, wenn auch schwierig, vertikale Tiefbohrungen mit einem Durchmesser von 0,7 Metern in Tiefen von 5 Kilometern durchzuführen (Abbildung 9). Dieser Durchmesser entspricht ungefähr dem Mindestdurchmesser für die Lagerung der verglasten Abfälle und abgebrannten Brennelemente aus dem Referenzinventar (Abschnitt 2.4.2), basierend auf der Annahme, dass sowohl die verglasten Abfallgebinde als auch die Brennelemente in Endlagerbehältern eingelagert werden. Nahezu 90 % der bestehenden und geplanten Gebinde mit langlebigen schwach- und mittelradioaktiven konditionierten Abfällen würden Bohrlocher mit einem Durchmesser grösser als 0,7 m erfordern, was schwierig zu realisieren ist.

Die Kenntnisse über das Vorhandensein von geologischen Formationen, die sich für die geologische Endlagerung in vertikalen tiefen Bohrlochern eignen, sind in Belgien spärlich. Konzepte, die im Ausland in Betracht gezogen werden, sehen im Allgemeinen eine Endlagerung in einem tiefen kristallinen Grundgebirge vor, das von mehr oder weniger undurchlässigen Tongesteinsschichten überdeckt wird.

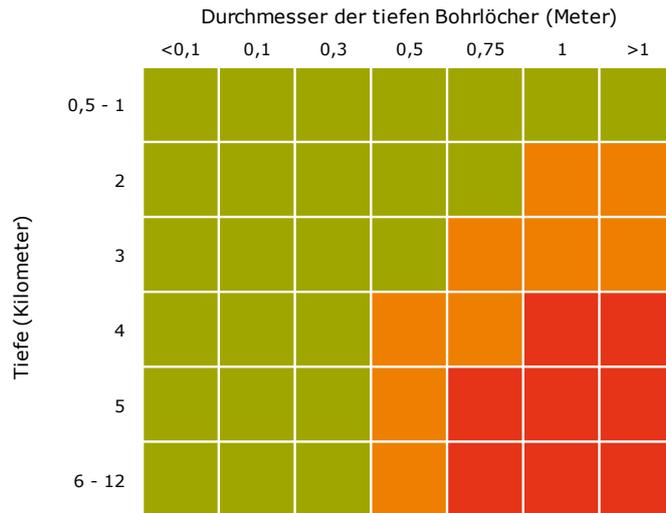


Abbildung 9 – Im Jahr 2015 geschätzte Machbarkeit der tiefen Bohrlöcher nach Innendurchmesser und Tiefe. Die in Grün dargestellten Ausmaße sind mit bestehenden Technologien machbar, die in Gelb dargestellten wären mit einer Weiterentwicklung der aktuellen Technologien machbar und die in Rot dargestellten würden eine signifikante Entwicklung erfordern [nach Sowder *et al.* 2016].

Das *Deep Isolation Project* [Muller *et al.* 2019] zielt auf die geologische Endlagerung in sogenannten „abgelenkten“ Bohrlöchern ab (Abbildung 10). Bei diesem Konzept wird der untere Teil des Bohrlochs, der für die Endlagerung verwendet wird, in eine horizontale oder nahezu horizontale Position abgelenkt, und zwar in einer Tiefe, die zwischen derjenigen liegt, die für eine geologische Endlagerung in Stollen vorgesehen ist, und derjenigen, die im Allgemeinen bei vertikalen Endlagerungskonzepten in tiefen Bohrlöchern anzutreffen sind. Der Endlagerungsbereich kann eine Länge von 3 Kilometern erreichen. Das Wirtgestein kann, a priori, von der gleichen Art sein wie die Wirtgesteine, die für die geologische Endlagerung in Stollen infrage kommen.

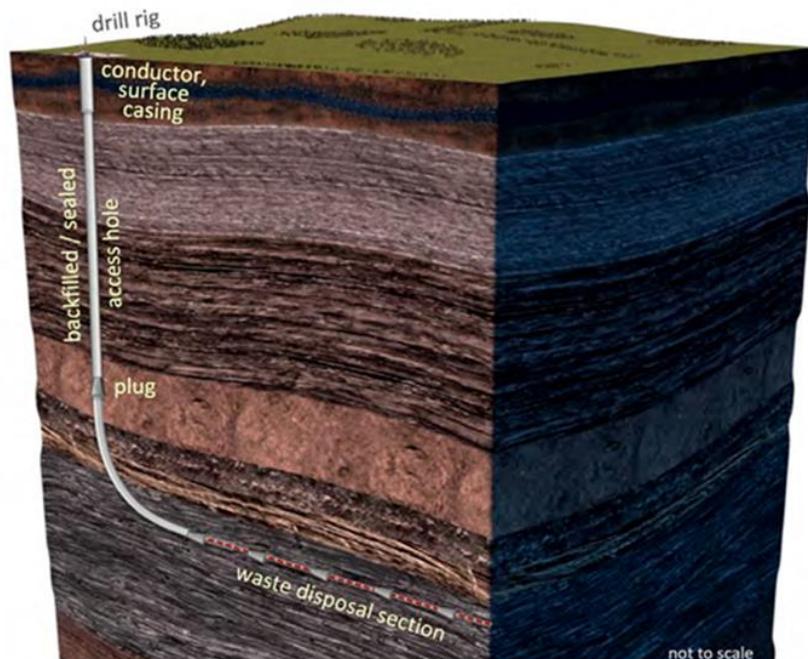


Abbildung 10 – Typische Darstellung der geologischen Endlagerung in abgelenkten Bohrlöchern [Muller *et al.* 2019].

Obwohl der Plan die geologische Endlagerung *auf belgischem Staatsgebiet* in Übereinstimmung mit den Bestimmungen des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens (Abschnitt 1.1) als Lösung vorschlägt, schließt dieser Rahmen nicht aus, dass die geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern in einem multinationalen Kontext in Betracht gezogen werden, in dem mehrere Länder sich dieselben Bohrlöcher teilen würden. Während einige Länder die gemeinsame Nutzung von Bohrlöchern von einigen Dutzend bis zu einigen hundert Metern Tiefe erwägen, scheint die gemeinsame Nutzung von mehreren Kilometern tiefen Bohrlöchern nirgendwo in Betracht gezogen zu werden. Die SUP erwägt daher keine „multinationale geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern“ als Variante der Option „geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern in Belgien“.

3.2.2 Vorteile, Nachteile und Herausforderungen

Während sich die geologische Endlagerung in Stollen in einigen Ländern in der Betriebsphase befindet, sind die Kenntnisse und das Know-how im Zusammenhang mit der geologischen Endlagerung in tiefen Bohrlöchern vergleichsweise begrenzt, und es scheint keine speziellen Publikationen internationaler Instanzen zu geben. Daher ist eine kurze Zusammenfassung ihrer Vor- und Nachteile sowie Herausforderungen nützlich.

Die wichtigsten Vor- und Nachteile tiefer Bohrlöcher sind, vorausgesetzt, dass das Wirtgestein und der Standort der Bohrlöcher richtig gewählt werden und unabhängig von den Herausforderungen des Sicherheitsnachweises und der technischen Machbarkeit, die Folgenden:

- Vorteile:
 - ▶ Es gibt keine oder praktische keine Grundwasserbewegungen in den Tiefen, in denen die Abfälle gelagert werden, und der Austausch mit dem oberflächennahen Grundwassersystem, das seinerseits mit der Biosphäre verbunden ist, ist sehr unwahrscheinlich;
 - ▶ die sehr grosse Mächtigkeit der Gesamtheit der geologischen Schichten, die die Abfälle von der Biosphäre isolieren;
 - ▶ es ist unmöglich oder allenfalls sehr schwierig, die Abfälle nach der vollständigen Schließung der Bohrlöcher zurückzuholen (für die Abfallarten, bei denen es wünschenswert wäre, sie niemals zurückzuholen, zum Beispiel aus Gründen der Non-Proliferation);
- Nachteile:
 - ▶ Je nach Blickwinkel die Tatsache, dass das Endlagersystem im Wesentlichen ein Einbarrierensystem ist, bei dem die einzigen wirklichen Barrieren geologischer Natur sind (das Wirtgestein und einige der darüberliegenden geologischen Schichten);
 - ▶ der relativ kleine Durchmesser der Gebinde, die endgelagert werden können;
 - ▶ es ist unmöglich oder allenfalls sehr schwierig, den Abfall *nach* der vollständigen Schließung der Bohrlöcher zurückzuholen (wenn die Rückholbarkeit des Abfalls vorgeschrieben ist).

Die Endlagerung in tiefen Bohrlöchern stellt zudem eine Reihe von wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen dar, darunter insbesondere die Folgenden:

- Wissenschaftliche Herausforderungen:
 - ▶ eine ausreichende Charakterisierung des Wirtgesteins, die notwendig ist, um die Phänomene zu verstehen, die im Endlagerungssystem stattfinden werden, was, im Gegensatz zu einer Charakterisierung in ein einem Felslabor nur durch Erkundungsbohrungen möglich ist;

- ▶ die Untersuchung der Auswirkungen der Bedingungen in großer Tiefe, insbesondere der Auswirkungen von Temperatur, Druck und chemischen Bedingungen auf die Abfallgebinde;
- ▶ die Entwicklung von Techniken zum Verschließen von Bohrlöchern, die die bevorzugten Transportpfade von Radionukliden und chemischen Schadstoffen an die Oberfläche unterbinden und so die Zone, in dem die Abfälle eingelagert werden, perfekt von der Biosphäre isolieren;
- ▶ die überzeugende Modellierung und Bewertung des langfristigen Verhaltens des Endlagerungssystems zur Bewertung seiner Sicherheit;
- Technologische Herausforderungen:
 - ▶ das Abteufen von Bohrungen mit einem Durchmesser von 0,7 Metern oder mehr im Endlagerungsbereich, der a priori in einer Tiefe von mehr als zwei Kilometer ist;
 - ▶ das Einbringen sehr schwerer Gebinde in großer Tiefe, wobei gleichzeitig das Risiko eines Absturzes oder Steckenbleibens von Gebinden zu vermeiden ist, insbesondere oberhalb des Endlagerungsbereichs, wo die Bedingungen für den Einschluss und die Isolation von Radionukliden und chemischen Schadstoffen nicht in ausreichendem Masse erfüllt sind;
 - ▶ die Rückholbarkeit von Abfallgebänden, die bei ihrer Einbringung stecken blieben.

3.3 Kurzer Vergleich der geologischen Endlagerung in Stollen und der geologischen Endlagerung in tiefen Bohrlöchern

Ein kurzer Vergleich der Sicherheit und Machbarkeit der geologischen Endlagerung in Stollen und der geologischen Endlagerung in tiefen Bohrlöchern zeigt, dass die geologische Endlagerung in Stollen – zumindest für das gesamte Abfallinventar – eher eine Lösung für die langfristig sichere Entsorgung von konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen darstellt als die geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern (Tabelle 2).

Tabelle 2 – Kurzer Vergleich der geologischen Endlagerung in Stollen und der geologischen Endlagerung in tiefen Bohrlöchern in Bezug auf Sicherheit und Machbarkeit.

	Geologische Endlagerung in Stollen	Geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern
Langfristig passive Eigenschaft?	ja	ja
Charakterisierung des Wirtgesteins in einem Felslabor?	durchführbar	nicht vorgesehen, wegen der technischen Schwierigkeiten und der hohen Kosten aufgrund der Tiefe
Demonstration der Sicherheit?	<ul style="list-style-type: none"> ■ bei Betrieb: durchführbar ■ langfristig: durchführbar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ bei Betrieb: unsicher ■ langfristig: unsicher
Machbarkeit: vorhanden		
<ul style="list-style-type: none"> ■ geeignete Standorte? ■ geeignete Bautechniken? 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ja ■ ja 	<ul style="list-style-type: none"> ■ wahrscheinlich ■ ja, für Bohrlöcher mit kleinem Durchmesser; <i>noch nicht</i>, für Bohrlöcher mit den erforderlichen Durchmessern und Tiefen
<ul style="list-style-type: none"> ■ geeignete Betriebstechniken? 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ja 	<ul style="list-style-type: none"> ■ noch nicht, und umso weniger für schwere Gebinde
Von anderen Ländern gewählt?	ja	auf konzeptioneller Ebene untersucht und für kleine Abfallmengen ins Auge gefasst

3.4 Wirtgestein

Ein Wirtgestein⁹ und sein geologisches Umfeld müssen eine Reihe von Anforderungen erfüllen, um für den Standort eines geologischen Endlagers in Betracht gezogen zu werden. Die IAEA listet folgende Anforderungen für die geologische Endlagerung in Stollen [IAEO 2011a] auf:

- Die Tiefe, Mächtigkeit und Ausdehnung des Wirtgesteinskörpers müssen ausreichend sein; in der Regel wird ein homogener und einfach charakterisierbarer Wirtgesteinskörper bevorzugt, der in einem relativ einfachen geologischen Umfeld eingebettet ist;
- Wirtgesteine, welche strukturell keine offensichtliche Transportpfade aufweisen, werden bevorzugt;
- Die mechanischen Eigenschaften des Wirtgesteins müssen den sicheren Bau, Betrieb und Verschluss des Endlagers sowie dessen langfristige Stabilität begünstigen; ferner sollen seine thermischen und thermomechanischen Eigenschaften den Einschluss von wärmeerzeugenden Abfällen erlauben, ohne dass das Wirtgestein allzu negativ beeinträchtigt wird.
- Die hydrogeologischen Eigenschaften des Wirtgesteins und dessen geologischen Umfelds sollten dazu beitragen, die Wasserbewegungen im Endlager zu begrenzen, um die Barrierenwirkung und die Langzeitisolation nicht zu beeinträchtigen;
- Die physikalisch-chemischen und geochemischen Eigenschaften des Wirtgesteins und dessen geologischen und hydrogeologischen Umfelds sollten dazu beitragen, die Freisetzung von Radionukliden und chemischen Schadstoffen aus dem Endlagersystem oder zumindest deren Migration in die Biosphäre zu begrenzen;
- Zukünftige Ereignisse und Prozesse wie Seismizität, Vulkanismus oder Klimawandel dürfen das Wirtgestein nur wenig beeinflussen, damit die Barrierenwirkung und die Langzeitisolation nicht beeinträchtigt werden.

Diese Eigenschaften sind jedoch allgemeiner Natur. Sie werden in der Regel dazu verwendet, um eine Vorauswahl der potenziellen Wirt- und Rahmengesteine zu treffen. Entscheidend für die Barrierenwirkung ist die Betrachtung des Lagersystems *als Ganzes*, d. h. die Kombination aus der Abfallmatrix, den technischen Barrieren, dem Wirtgestein und dem geologischen Umfeld.

Die folgende Beschreibung soll einen allgemeinen Überblick über die Wirtgesteine geben, die in ausländischen Programmen für die Endlagerung von konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen in Stollen am häufigsten in Betracht gezogen werden (Abschnitt 3.4.1), kurz die in Belgien angetroffenen geologischen Formationen vorstellen, die für diese Art der Endlagerung theoretisch möglich sind (Abschnitt 3.4.2). Sie ist absichtlich sehr stark vereinfacht, da die Wahl einer geologischen Formation nicht auf der Tagesordnung steht, um die Grundlage der nationalen Politik für die langfristig sichere Entsorgung dieser Abfälle festzulegen.

3.4.1 Im Allgemeinen im Ausland

Es gibt eine umfangreiche internationale Wissensgrundlage über die verschiedenen potenziellen Wirtgesteine für die geologische Endlagerung. Drei Arten von Wirtgesteinen werden in ausländischen Forschungs- und Entwicklungsprogrammen für die Endlagerung von konditioniertem hochradioaktivem und/oder langlebigem Abfall am häufigsten untersucht: Evaporite, Kristallingesteine und Tonformationen. Jede Art von Wirtgestein wirft eine große

⁹ In der SUP wird der in der deutschsprachigen Fachwelt üblichen Begriff „Wirtgestein“ verwendet, wobei das französische Original den Begriff „formation hôte“ bevorzugt. Zwischen „Wirtsformation“ und „Wirtgestein“ wird im Bericht nicht unterschieden. Wenn notwendig werden aber die Begriffe „Formation“ und „Gestein“ in differenzierter Weise verwendet.

Vielfalt und je nach Standort unterschiedliche Eigenschaften auf. Einige Länder haben sich bereits für ein Wirtgestein für die Endlagerung ihrer konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle in Stollen entschieden (Tabelle 3 in Abschnitt 3.5).

3.4.1.1 Evaporite

Evaporite, auch häufig unzutreffenderweise „Salzformationen“ genannt, entstehen aus der Verdampfung ehemaliger Wassermassen. Das Vorhandensein von Salz weist auf das Fehlen von Grundwasserflüssen hin, die zum Transport von Radionukliden und chemischen Schadstoffen in die Biosphäre beitragen könnten: Wasser würde das Salz auflösen. Salz hat noch weitere günstige Eigenschaften: seine gute Wärmeleitfähigkeit erlaubt den Wärmeabfuhr aus den wärmeerzeugenden Abfälle, es ist extrem plastisch und weist daher Selbstheilungseigenschaften für Risse und Brüche auf, die durch den Bau des Lagers entstehen können, und es hat gute mechanische Eigenschaften, die für den Ausbruch (und die Stabilität) der Lagerung in Stollen günstig sind.

Evaporite wurden von den Vereinigten Staaten für die geologische Lagerung von konditionierten mittel- und langlebigen Abfällen ausgewählt.

3.4.1.2 Kristallingesteine

Kristallingesteine sind magmatische Gesteine, die durch die sehr langsame Abkühlung von Magma in der Tiefe entstanden sind, oder metamorphe Gesteine, d. h. Gesteine, die im Laufe ihrer Geschichte durch die Einwirkung hoher Temperaturen und/oder Druck verändert wurden. Sie umfassen Granite und Gneisse und wurden umfassend als potenzielle Wirtgesteine für die geologische Endlagerung von Brennelementen, u.a. in Finnland und Schweden, erforscht.

Kristallingesteine sind relativ hart und äußerst stabil, bieten also einen guten Schutz für technische Barrieren. Darüber hinaus haben sie verschiedene andere günstige Eigenschaften für die Endlagerung von Abfällen, wie z. B. eine geringe Porosität, eine sehr geringe Durchlässigkeit und eine gute Wärmeleitfähigkeit, was für die Endlagerung von wärmeerzeugenden Abfällen wichtig ist. Kristallingesteine haben jedoch den Nachteil, dass sie häufig Störungszonen aufweisen, welche beim Bau eines Endlagers gemieden werden sollten.

3.4.1.3 Tonformationen

Tonformationen entstehen durch die Ablagerung von Sedimenten in Meeren oder Seen. Sie umfassen eine Reihe von Formationen, von sogenanntem „schwach verfestigtem“ Ton bis hin zu Schiefer, über eine Reihe von Tonsteinen, die mehr oder weniger stark „verfestigt“ sind. Der Verfestigungsgrad der Formationen hängt von den im Verlauf der Geschichte wirkenden Diageneseprozessen sowie von möglichen Metamorphismen geringer Intensität (z.B. Schiefer) ab. Ton weist eine Vielzahl von Eigenschaften auf, welche für den Bau eines geologischen Endlagers günstig sind: Ton hat eine sehr geringe Wasserdurchlässigkeit und besitzt aufgrund seiner mineralogischen und chemischen Eigenschaften ein gutes Einschlussvermögen für viele Radionuklide und chemische Schadstoffe. Darüber hinaus besitzt Ton ein hohes Selbstabdichtungsvermögen. Brüche und Risse, die dort insbesondere durch Ausbruchaktivitäten entstehen, verschließen sich selbständig.

Tonformationen wurden u.a. von Frankreich und der Schweiz für die geologische Endlagerung von konditionierten hochaktiven und/oder langlebigen Abfällen gewählt.

3.4.2 In Belgien

Die in Belgien für die geologische Endlagerung in Betracht gezogenen Formationen sind dieselben wie auf internationaler Ebene. Sie werden im Folgenden kurz vorgestellt [Europäische Kommission 1979; Wouters & Vandenberghe 1994; Vandenberghe & Laga 1996; Geologica Belgica 2001].

3.4.2.1 Evaporite

Die in Belgien vorkommenden Evaporite befinden sich im tiefen Untergrund (von 600 m bis 3,5 km) des Monser Beckens (Bassin de Mons) und des Kempenbeckens (Bassin de la Campine). Dabei geht es vorwiegend um Anhydrit.

Die Evaporitvorkommen in Belgien sind entweder stark zerfallen oder dünner als diejenigen, die im Ausland als Wirtgestein verwendet oder in Betracht gezogen werden.

- Die Evaporite des Monser Beckens befinden sich in einem strukturell komplexen Umfeld und bestehen hauptsächlich aus stark zerfallenen Schichten, die sich teilweise auflösen.
- Die Evaporiten des Kempenbeckens bilden dünne, knollige Schichten.

Evaporite wurden von NERAS bisher nicht erforscht.

3.4.2.2 Kristallingesteine

In Belgien gibt es mehrere, unterschiedliche Kristallingestein-Vorkommen: Vulkanische Einschaltungen, kristalline Intrusionen oder auch kristallines Grundgebirge.

- Vulkanische Einschaltungen sind weniger als zehn Meter dick und daher zu dünn, um als Wirtgestein infrage zu kommen;
- Im Süden des Brabanter Massivs sind kristalline Einlagerungen zum Teil an der Oberfläche sichtbar. Die meisten Aufschlüsse wurden oder werden noch abgebaut. Weitere Vorkommen sind bekannt, kommen wegen ihrer Grösse jedoch nicht in Frage. Schliesslich wurden Einlagerungen vor kurzem entdeckt und sollten näher untersucht werden.
- Das kristalline Grundgebirge ist im Brabanter Massiv in einer Tiefe von über zwei Kilometer anzutreffen. Seine Eigenschaften sind grössternteils unbekannt, da bisher keine Tiefbohrung durchgeführt wurde.

Die Kristallingesteine wurden von NERAS bisher nicht erforscht.

3.4.2.3 Tonformationen

Zu den Tonformationen in Belgien gehören auch eine Reihe von Formationen, die von schwach verfestigtem Ton über Tonstein bis hin zu Schiefer reichen.

Schwach verfestigter Ton

Bei dem in Belgien vorhandenen schwach verfestigten Ton handelt es sich hauptsächlich um Boomschen Ton, der im Untergrund des Kempenbeckens vorkommt, und um Yperschen Ton, der hauptsächlich im Untergrund von West- und Ostflandern vorkommt.

Die NERAS und das Studienzentrum für Kernenergie (SCK CEN) forschen seit über vierzig Jahren an der geologischen Endlagerung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle in Boomschen und in geringerem Maße in Yperschen Tonstollen. Den Ergebnissen zufolge weisen diese schwach verfestigten Tonsorten keine kritischen Mängel für die

Endlagerung in Stollen auf [NERAS 1989, 2001a, 2001b, 2011a, 2013; NEA 2003]. Diesen Standpunkt nimmt die FANK in ihrer Stellungnahme zum Planentwurf 2010 [FANK 2010] ein, macht jedoch auf das Vorhandensein von wasserführenden Schichten in der Umgebung des Boomschen Tons aufmerksam:

„Die Ergebnisse der in den letzten Jahrzehnten in Mol und insbesondere in Boomschen Ton durchgeführten Studien zeigen, dass es kein Argument gibt, das die inhärenten Eigenschaften dieser Tonformation (also ohne Berücksichtigung der Umgebung des Lagers) als Wirtgestein für ein Lager für radioaktive Abfälle infrage stellt.“

„das Vorhandensein von wasserführenden Schichten in der Umgebung des Boomschen Tons wird kaum erwähnt [...] und weder bei der Prüfung der Vor- und Nachteile dieses Wirtgesteins noch beim perspektivischen Vergleich mit anderen möglichen Formationen berücksichtigt [...]“ [NERAS-Übersetzung aus dem Französischen]

Die NERAS berücksichtigt das Vorhandensein von wasserführenden Schichten in ihren Studien über die geologische Endlagerung in Stollen in schwach verfestigtem Ton. Jedes geologische Endlagerungssystem muss so ausgelegt sein, dass überzeugend nachgewiesen werden kann, dass seine Auswirkungen auf die wasserführenden Schichten und die Menschen, die das Wasser daraus konsumieren, sehr gering sind und in jedem Fall unter den geltenden Normen liegen.

Tongesteine

Die in Belgien vorkommenden Tongesteine sind manchmal paläozoischen (– 541 bis – 252 Millionen Jahre) und manchmal mesozoischen (– 252 bis – 66 Millionen Jahre) Alters.

Paläozoische Tonsteine finden sich in den Randgebieten des Brabanter Massivs, im Kempen-Becken und in den Regionen Namur und Dinant. Bestimmte Formationen könnten a priori Merkmale aufweisen, die für das Einrichten eines Endlagers günstig wären. Bisher wurden sie von NERAS nicht erforscht.

Mesozoische Tonsteine sind im Mons-Becken, auf dem Herver Plateau und in der Gaume vorhanden. Sie sind den Tonsteinen sehr ähnlich, die in Frankreich und in der Schweiz als Wirtgestein für die geologische Endlagerung in Stollen untersucht wurden. Bisher wurden sie von NERAS nicht erforscht.

Schiefer

Aufgrund seiner Eigenschaften könnte Schiefer als Wirtgestein für ein geologisches Endlager in Frage kommen. Schiefer ist im Brabanter Massiv, in der Neufchâteau-Mulde, in der La-Rochefazies sowie im Rocroi- und Stavelot-Massiv zu finden.

Mit Ausnahme einiger französischer Schiefervorkommen weisen die Schiefergesteine in Belgien wenig Ähnlichkeiten mit anderen Schiefergesteinen im Ausland. Schiefer wird weltweit kaum als potenzielles Wirtgestein untersucht. Bisher wurde diese von NERAS nicht erforscht.

3.5 Nationale Politiken ausländischer Länder zur langfristig sicheren Entsorgung ihrer konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle

Viele ausländische Länder haben eine nationale Politik der geologischen Endlagerung für die langfristig sichere Entsorgung ihrer konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle. Von den Ländern der OECD und der Europäischen Union, die mindestens einen kommerziellen Kernreaktor in Betrieb oder endgültig abgeschaltet haben, d. h. insgesamt 21 Länder, verfolgen 18 eine Politik für die langfristig sichere Entsorgung solcher Abfälle: Alle haben sich für die geologische Endlagerung entschieden (Tabelle 3). Nur Belgien, Italien und

Mexiko besitzen noch keine nationale Politik für die langfristig sichere Entsorgung ihrer Abfälle.

Von den 18 Ländern, die sich für die geologische Endlagerung ihrer konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle entschieden haben¹⁰,

- wird in Südkorea, den Vereinigten Staaten, Finnland, Ungarn und Schweden mindestens ein geologisches Endlager in Stollen betrieben;
 - ▶ Südkorea betreibt seit 2015 ein geologisches Tiefenlager für Abfälle mit schwacher bis mittlerer Radioaktivität. Der Abfall wird in einem kristallinen Gestein in einer Tiefe von 80 bis 130 Metern gelagert.
 - ▶ Die Vereinigten Staaten betreiben seit 1999 ein geologisches Tiefenlager für militärische Abfälle mit mittlerer Radioaktivität und langer Lebensdauer, das in einem 650 Meter tiefen Evaporit gebaut wurde.
 - ▶ Finnland betreibt seit 1992 und 1998 zwei geologische Tiefenlager für Abfälle mit niedriger und mittlerer Radioaktivität, die in einem kristallinen Gestein in Tiefen von 60 bis 100 Metern bzw. 120 Metern gegraben wurden.
 - ▶ Ungarn betreibt seit 2012 ein geologisches Tiefenlager für Abfälle mit niedriger und mittlerer Radioaktivität, das in einem kristallinen Gestein in einer Tiefe von 200 bis 250 Metern errichtet wurde.
 - ▶ Schweden betreibt seit 1988 ein geologisches Tiefenlager für Abfälle mit niedriger und mittlerer Radioaktivität, das in einem kristallinen Gestein in einer Tiefe von 50 bis 100 Metern unter dem Meeresspiegel gegraben wurde und einen Kilometer von der Küste entfernt liegt. Ein Antrag auf Erweiterung dieses Lagers zur Verdreifachung seiner Kapazität wird derzeit von den schwedischen Behörden geprüft.
- Deutschland baut ein geologisches Tiefenlager in Stollen für seine nicht wärmeentwickelnden, langlebigen Abfälle und Finnland tut dasselbe für seine verbrauchten Kernbrennstoffe.
- haben Kanada und Schweden ein Bewilligungsgesuch für den Bau eines geologischen Endlagers in Stollen gestellt, das derzeit von den zuständigen Behörden geprüft wird;
- plant Frankreich ein Baubewilligungsgesuch im Jahr 2020 einzureichen.

Die Länder der Europäischen Union, die keine kommerziellen Kernreaktoren besitzen, haben sich entweder für die geologische Endlagerung ihrer eventuellen konditionierten hochradioaktiven Abfälle und ihrer konditionierten langlebigen schwach- und mittelradioaktiven Abfälle entschieden, gegebenenfalls als Teil einer gemeinsamen Lösung außerhalb ihrer Grenzen, oder sie haben keine nationale Politik für die langfristig sichere Entsorgung solcher Abfälle.

¹⁰ Einige Länder haben sich für die geologische Endlagerung ihrer konditionierten mittelradioaktiven und langlebigen Abfälle zusammen mit den konditionierten schwachaktiven und langlebigen Abfällen entschieden. Der Vergleich mit dem belgischen Fall ist nach wie vor relevant, da der Plan nicht ausschließt, dass die konditionierten Abfälle mit schwacher bis mittlerer Radioaktivität und die konditionierten hochradioaktiven Abfälle an mehreren Standorten auf verschiedene Anlagen zur Endlagerung verteilt werden können (Abschnitt 2.1).

Tabelle 3 – Nationale Politiken von OECD- und EU-Ländern, die mindestens einen kommerziellen Kernreaktor für die langfristig sichere Entsorgung ihrer konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfälle, in der belgischen Klassifikation (Abschnitt 2.4.1) auch als Abfälle der Kategorien B und C bezeichnet, in Betrieb oder dauerhaft abgeschaltet haben, und Stand der Umsetzung. Diese nationalen Politiken sind meist durch Gesetze festgelegt (siehe Anhang 2 für Verweise auf Dokumente, die diese Politiken festlegen oder auf sie verweisen).

Länder	Abfall-kategorien	Nationale Politik und Jahr der Verabschiedung	Wirtgestein	Tiefe [m]	Inbetriebnahme
Belgien	B-C	<i>nicht entschieden</i>			
Bulgarien	B-C	geol. Endl.			
Deutschland	A-B	geol. Endl. 1959	Kalkstein unter Ton	800 – 1300	geplant für 2028
	C	geol. Endl. 1973	n. f.	n. f.	geplant für 2050
Finnland	A-B	geol. Endl. 1983	kristallines Gestein	60 – 100	1992
	A-B	geol. Endl. 1983	kristallines Gestein	120	1998
	C	geol. Endl. 1987	kristallines Gestein	400 – 450	geplant für 2023
Frankreich	B-C	geol. Endl. 2006	Tongestein	500	geplant für 2025 (Pilotphase)
Italien	B-C	<i>nicht entschieden</i>			
Japan	B	geol. Endl. 2007	n. f.	n. f.	
	C	geol. Endl. 2000	n. f.	n. f.	geplant für 2035
Kanada	A-B	geol. Endl. ¹	Kalkstein unter Ton	680	geplant für 2027
	C	geol. Endl. 2007	n. f.	n. f.	geplant für 2040–2045
Mexiko	B-C	<i>nicht entschieden</i>			
Niederlande	A-B-C	geol. Endl. 1984	Evaporit oder Tongestein	n. f.	geplant für nach 2100
Rumänien	B-C	geol. Endl.			geplant für 2055
Schweden	A-B	geol. Endl. 1977	kristallines Gestein	50 – 100	1988
	C	geol. Endl. 1977	kristallines Gestein	500	geplant für 2030
Schweiz	A-B	geol. Endl. 2005	Tongestein	n. f.	geplant bis 2050
	C	geol. Endl. 2005	Tongestein	n. f.	geplant bis 2060
Slowakei	C	geol. Endl. 2015	n. f.	n. f.	geplant bis 2065
Slowenien	C	geol. Endl. 2016	n. f.	n. f.	
Spanien	B-C	geol. Endl.			
Südkorea	A-B	geol. Endl. 2005	kristallines Gestein	80 – 130	2015
	C	geol. Endl. 2016	n. f.	n. f.	geplant für 2053
Tschechien	C	geol. Endl. 2002	kristallines Gestein	n. f.	geplant für 2065
Ungarn	A-B	geol. Endl. 1996	kristallines Gestein	200 – 250	2012
	C	geol. Endl. 1996	Tongestein	n. f.	geplant für 2064
Vereinigte Staaten von Amerika	B (militär.)	geol. Endl. 1979	Evaporit	650	1999
	C	geol. Endl. 1982	Vulkangestein	300	Projekt ausgesetzt (kein Budget)
Vereinigtes Königreich	B-C	geol. Endl. 2006	n. f.	n. f.	

n. f.: nicht festgelegt

¹ Das geologische Endlager befindet sich seit 2005 in einem Umweltsicherungsverfahren und war 2011 Gegenstand eines Baubewilligungsantrags, aber die Verabschiedung der geologischen Endlagerung als nationale Politik für die langfristig sichere Entsorgung von Abfällen der Kategorien A und B scheint nicht in einem Gesetz formalisiert worden zu sein.

Die Erfahrungsberichte über geologische Tiefenlager beschränken sich auf die Betriebserfahrung. Es gibt nämlich weltweit noch keine verschlossenen geologischen Tiefenlager für Abfälle mit niedriger und mittlerer Radioaktivität. Es gibt auch noch keine geologischen Tiefenlager für hochradioaktive Abfälle: Das erste wird gerade in Finnland gebaut.

- Mit Ausnahme des amerikanischen Tiefenlagers sind alle in Betrieb befindlichen geologischen Tiefenlager seit ihrer Inbetriebnahme ohne Unterbrechung in Betrieb. Die beiden Vorfälle – einer von radiologischer und der andere von konventioneller Art –, die im amerikanischen Lager auftraten und zu dessen vorübergehender Schließung führten, haben gezeigt, wie wichtig es ist, die Verfahren einzuhalten und eine Kultur der Sicherheit unter den Arbeitnehmern einzuführen.
- In der Vergangenheit hat Deutschland zwei stillgelegte Salzminen (Evaporite) verwendet, um Abfälle mit niedriger und mittlerer Radioaktivität von 1967 bis 1978 (Asse) bzw. von 1971 bis 1998 (Morsleben) zu lagern. Dieses Verfahren, das darin bestand, vorhandene unterirdische Hohlräume ohne Anwendung des jetzt international empfohlenen systemischen Ansatzes zu nutzen, führte zur endgültigen Einstellung des Betriebs. Insbesondere in Asse wies die Mine, die den Status eines „Pilotlagers“ hatte, Probleme hinsichtlich Stabilität und Wasserinfiltration auf. Der Abfall wird entfernt.

4 Alternativen, die keine vernünftigen Ersatzlösungen zur geologischen Endlagerung darstellen

Es besteht ein breiter Konsens darüber, dass die Alternativen, die für die langfristig sichere Entsorgung von konditioniertem hochradioaktivem und/oder langlebigem Abfall vorgestellt wurden oder teilweise noch vorgeschlagen werden, keine vernünftigen Ersatzlösungen zur geologischen Endlagerung auf belgischem Gebiet darstellen (Tabelle 4). Diese Vorschläge werden der Vollständigkeit halber beschrieben, mit den (regulatorischen, sicherheitstechnischen, ökologischen, gesellschaftlichen, finanziellen usw.) Hauptargumenten, die gemäß internationalem Konsens diesbezüglich zu ihrer Ablehnung führen. Sie werden daher keiner Umweltverträglichkeitsprüfung unterzogen.

Tabelle 4 – Alternativen, die keine vernünftigen Ersatzlösungen zur geologischen Endlagerung darstellen, mit den Hauptgründen für deren Ablehnung.

Optionen	Hauptgründe für die Ablehnung
Lagerung (Abschnitt 4.1)	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Langfristige Lagerung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ für einen bestimmten Zeitraum (bis ca. 300 Jahre), der nicht mit dem Zeitraum vereinbar ist, in dem der Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet werden muss, d. h. bis zu Hunderttausende und z.T. bis zu einer Million Jahren (Abschnitt 2.4.1)
<ul style="list-style-type: none"> ■ Dauerhafte Lagerung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ bietet keine passive Langzeitsicherheit und erfordert daher über Hunderttausende und z.T. bis zu einer Million Jahren eine komplette Weitergabe der Lasten von Generation zu Generation
<ul style="list-style-type: none"> ■ Zur Endlagerung umwandelbare Lagerung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ stellt einen Widerspruch in Bezug auf die Regulierung, die Grundsätze, das Konzept und die Umsetzung dar
Fortschrittliche Partitionierungs- und Transmutationstechnologien (Abschnitt 4.2)	
	sind Technologien zur Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennstoffen und keine Technologien zur langfristig sicheren Entsorgung
„Exotische“ Lösungen und Oberflächen- oder oberflächennahe Endlagerung (Abschnitt 4.3)	
	verstoßen gegen Vorschriften und/oder stellen unkontrollierbare Risiken dar

4.1 Alternativen zur geologischen Endlagerung

Die in Betracht gezogenen Alternativen zur geologischen Endlagerung, die über die 100 Jahre, d. h. den maximal betrachteten Zeitraum für die Zwischenlagerung (Referenzsituation – Kapitel 7), hinausgehen, sind die langfristige Lagerung, die sogenannte „dauerhafte“ Lagerung und die „in eine Endlagerung umwandelbare Lagerung“. Alle drei können an der Oberfläche bzw. sogar oberflächennah berücksichtigt werden. Die Unterscheidung zwischen Oberflächen- oder oberflächennaher Endlagerung ist bei der Prüfung von Lagerungsalternativen nicht relevant: Die für die Oberflächenlagerung gültigen Erkenntnisse gelten auch für die oberflächennahe Lagerung. Die Oberflächen- oder oberflächennahe Endlagerung unterscheiden sich jedoch in mancher Hinsicht, z.B. in Bezug auf Lager- und Betriebskonzept, die Anfälligkeit auf externe Störungen, die Sicherheit und das Risiko des Vergessens.

In den folgenden Abschnitten wird daher nicht zwischen ober- und unterirdischer Lagerung unterschieden.

4.1.1 Langfristige Lagerung

Die langfristige Lagerung besteht darin, die Abfälle in dafür vorgesehenen Anlagen für einen Zeitraum von a priori 100 bis 300 Jahren zu lagern, sodass es letztlich zukünftigen Generationen obliegen wird, über die Art der weiteren Behandlung dieser Abfälle zu entscheiden. Für die langfristige Lagerung müssen Lager (oberflächennah oder sogar bis zu einer Tiefe von einigen Dutzend Metern) entworfen und gebaut werden, durch die der Schutz von Mensch und Umwelt für diese Zeiträume mittels Kontrollen und regelmäßiger Wartungen und mittels regelmäßiger Überprüfungen der in den Anlagen befindlichen Abfallgebinde auf Integrität gewährleistet werden kann. Falls erforderlich, müssen die Abfälle neu verpackt oder nachkonditioniert werden. Die Lagerstätte muss zudem ebenfalls kontrolliert, gewartet und überwacht werden. Während dieses gesamten Zeitraums hängt der Schutz von Mensch und Umwelt vom menschlichen Handeln ab. Die langfristige Lagerung entspricht hinsichtlich der notwendigen Behandlung und Anlagen der ersten Phase der dauerhaften Lagerung (Abschnitt 4.1.2).

Eine Betrachtung der wichtigsten Vor- und Nachteile der langfristigen Lagerung (Tabelle 5) sollte nicht darüber hinwegtäuschen, dass diese Option im Wesentlichen nicht die Grundlage einer Politik der langfristig sicheren Entsorgung bilden kann, da sie nur einen Zeitraum von einigen hundert Jahren umfasst. Sie wurde zudem von der FANK 2010 in ihrer Stellungnahme zum Planentwurf und der damaligen SUP als unzulässig erachtet [FANK 2010].

„Die oberflächennahe Lagerung von hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen (Abfälle der Kategorie B&C), sei es in Erwartung der Entwicklung neuer Techniken oder für einen Zeitraum von mehreren Jahrhunderten, kann aus folgenden Gründen nicht gerechtfertigt werden:

- a) Dies würde eine dauerhafte und langfristige Belastung für künftige Generationen darstellen;*
- b) Diese Lösung würde die Aufrechterhaltung von relevantem Wissen und die kontinuierliche Organisation von Schulungen erfordern;*
- c) Das potenzielle Risiko böswilliger Handlungen ist höher als bei anderen (geologischen) Optionen, da die Materialien an der Oberfläche leicht zugänglich sind;*
- d) Das Volumen der radioaktiven Abfälle würde durch die Nachkonditionierung laufend steigen und daher im Laufe der Zeit eine immer größere Lagerkapazität erfordern;*
- e) Da auf jeden Fall eine endgültige Lösung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle gesucht werden muss, wäre es gleichbedeutend mit einer Weitergabe der Verantwortung an künftige Generationen, wenn heute keine Entscheidung für diese Art von Abfällen getroffen würde.*

Darüber hinaus wird die langfristige Lagerung (mehrere Jahrhunderte) auf internationaler Ebene nicht als Referenzlösung für die langfristig sichere Entsorgung dieser Art von Abfällen angesehen.“

In Erwägung des Grundes 21 hält die Richtlinie 2011/70/Euratom in ähnlicher Weise fest, dass die Lagerung keine Alternative zur Endlagerung darstellt: *„Die Lagerung radioaktiver Abfälle – einschließlich der Langzeitlagerung – ist eine Übergangslösung, aber keine Alternative zur Endlagerung.“*

Die Entscheidung für eine langfristige Lagerung mit der Absicht, sich Zeit einzuräumen, um von einem allfälligen Beitrag der fortschrittlichen Partitionierungs- und Transmutations-technologien zu profitieren, ist ebenfalls keine Lösung. Dies allein schon deshalb nicht, weil diese Technologien – vorausgesetzt, dass sie eines Tages im Rahmen der Entwicklung fortschrittlicher Kernreaktoren im industriellen Maßstab umgesetzt werden können – nicht die Notwendigkeit einer geologischen Endlagerungslösung beseitigen, sowohl für die bereits produzierten Abfälle als auch für die langlebigen Abfälle, die von diesen fortschrittlichen

Reaktoren und anderen Anlagen in den fortschrittlichen Nuklearkreisläufen produziert werden (Abschnitt 4.2).

Tabelle 5 – Zusammenfassung der wesentlichen Vor- und Nachteile der langfristigen Lagerung, die laut der Richtlinie 2011/70/Euratom keine Alternative für die Endlagerung darstellt und von der FANK als unzulässig erachtet wird.

Vorteile	Nachteile
Sicherheit und Umwelt	
<ul style="list-style-type: none"> ■ kann kontrolliert werden 	<ul style="list-style-type: none"> ■ erfordert <ul style="list-style-type: none"> ▶ permanente Kontrollen und Wartung ▶ die Neuverpackung oder Nachkonditionierung von Abfällen und somit <ul style="list-style-type: none"> ▶ führt sie zu einer allmählichen Zunahme des Abfallvolumens ▶ beinhaltet sie ein wiederholtes Risiko für die Betriebssicherheit ■ ist anfällig <ul style="list-style-type: none"> ▶ für Veränderungen des Umfelds von Gebäuden ▶ für kontextbezogene Unsicherheiten: Gefahr der Verschlechterung der regulatorischen Aufsicht, der Auflösung der Betreibergesellschaft, des Wissensabbaus, von Finanzierungsengpässen, von Kriegen usw.
Sicherheit	
	<ul style="list-style-type: none"> ■ benötigt eine ständige Überwachung ■ ist anfällig für böswillige Handlungen
Wissenschaft und Technik	
<ul style="list-style-type: none"> ■ ermöglicht die Berücksichtigung wissenschaftlicher und technischer Entwicklungen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ bietet eine Lösung für einen durch die Technik begrenzten Zeitraum (a priori maximal 300 Jahre)
Ethik und Gesellschaft	
<ul style="list-style-type: none"> ■ lässt künftigen Generationen die Freiheit der Wahl der Entsorgung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ gibt die gesamte Last an künftige Generationen weiter: <ul style="list-style-type: none"> ▶ Kontrollen, Wartung und Überwachung ▶ Transfer von Wissen und Know-how ▶ Entwicklung, Implementierung und Finanzierung einer langfristig sicheren Entsorgungslösung
Wirtschaft und Finanzen	
<ul style="list-style-type: none"> ■ ist leicht nach dem Verursacherprinzip finanzierbar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ erfordert eine zukünftige Finanzierung einer nicht bekannten langfristigen Entsorgungslösung
Rückholung der Abfälle	
<ul style="list-style-type: none"> ■ ist immer möglich 	

4.1.2 Dauerhafte Lagerung

Die dauerhafte Lagerung wird als die ständige, sich über Hunderttausende und z.T. bis zu einer Million Jahre erstreckende Wiederholung von Phasen der langfristigen Lagerung und Neuverpackung oder Nachkonditionierung betrachtet (Abbildung 11). Sie erfordert die Planung und den Bau von Lagern (oberflächennah oder sogar bis zu einer Tiefe von einigen Dutzend Metern), durch die der Schutz von Mensch und Umwelt für diese Zeiträume mittels Kontrollen und regelmäßiger Wartungen sowie mittels regelmäßiger Überprüfungen der in den Anlagen befindlichen Abfallgebinde auf Integrität gewährleistet werden kann. Wenn erforderlich, müssen die Abfälle neu verpackt oder nachkonditioniert werden. Selbst Endlager, die mit den besten Bautechniken gebaut wurden, können nicht für einen viel längeren Zeitraum intakt bleiben. Um den Schutz von Mensch und Umwelt dauerhaft aufrechtzuerhalten, müssen deshalb am Ende der Lebensdauer der alten Anlagen neue Lager gebaut und die Abfälle müssen, nachdem sie gegebenenfalls neu verpackt oder nachkonditioniert wurden, in neue Anlagen überführt werden, was die Gesamtmenge der zu lagernden Abfälle zunehmend erhöht. Die Abfallkonditionierungsmatrix und der sie umschließende Behälter sind nämlich die

primären Einschlussbarrieren für Radionuklide und chemische Schadstoffe und müssen daher erneuert werden, wenn sie nicht mehr den Sicherheitsanforderungen entsprechen. Die Lagerstätte muss zudem ebenfalls kontrolliert, gewartet und überwacht werden.

Der Schutz von Mensch und Umwelt im Falle der dauerhaften Lagerung basiert daher permanent auf menschlichem Handeln: Mit anderen Worten, eine Lösung für die dauerhafte Lagerung gewährleistet die Sicherheit nicht auf passive Weise und entspricht daher nicht dem dritten Grundsatz der Richtlinie 2011/70/Euratom, den die nationalen Politiken erfüllen müssen (Kasten 1 in Abschnitt 1.1). Auch für die FANK ist eine dauerhafte Lagerung unzulässig, da eine langfristige Lagerung nicht zulässig ist [FANK 2010]. Ungeachtet dessen werden die wesentlichen Vor- und Nachteile dennoch in Tabelle 6 zusammengefasst.

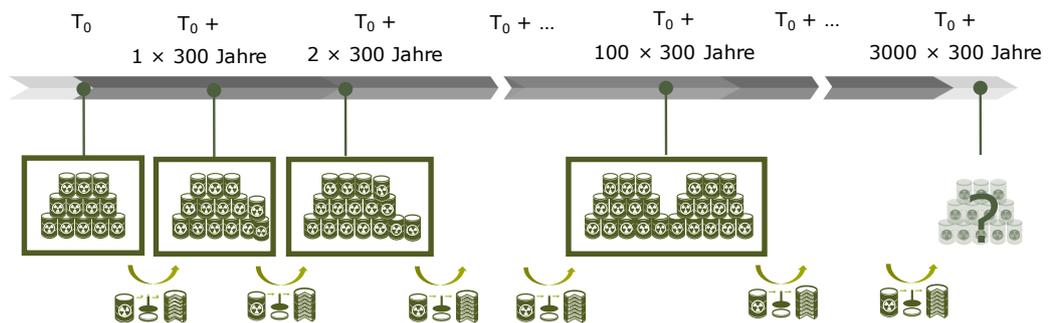


Abbildung 11 – Vereinfachtes zeitliches Schema für die Implementierung der dauerhaften Lagerung. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Abfolge Bau – Betrieb – Stilllegung, kombiniert mit Neuverpackungs- und Nachkonditionierungsarbeiten über Hunderttausende von Jahren bis zu ca. einer Million Jahre wiederholen wird.

Tabelle 6 – Zusammenfassung der wesentlichen Vor- und Nachteile der dauerhaften Lagerung, die nicht der Richtlinie 2011/70/Euratom entspricht und von der FANK als unzulässig erachtet wird.

Vorteile	Nachteile
Sicherheit und Umwelt <ul style="list-style-type: none"> als langfristige Lagerung 	<ul style="list-style-type: none"> als langfristige Lagerung + erfordert den regelmäßigen Ersatz von Gebäuden
Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> als langfristige Lagerung
Wissenschaft und Technik <ul style="list-style-type: none"> als langfristige Lagerung 	
Ethik und Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> gibt die gesamte Last für Hunderttausende und z.T. bis zu einer Million Jahre an künftige Generationen weiter: <ul style="list-style-type: none"> Kontrollen, Wartung und Überwachung Transfer von Wissen und Know-how regelmäßiger Bau neuer Gebäude Investitionen ohne Ende
Wirtschaft und Finanzen	<ul style="list-style-type: none"> hat permanente und steigende Kosten, die nicht quantifizierbar sind und daher nicht nach dem Verursacherprinzip gedeckt werden können
Rückholung der Abfälle <ul style="list-style-type: none"> als langfristige Lagerung 	

4.1.3 Zur Endlagerung umwandelbare Lagerung

Die zur Endlagerung umwandelbare Lagerung bestünde darin, dass der Abfall in einer Anlage gelagert wird, die mit der Absicht geplant, gebaut und betrieben wird, den Abfall zurückzuholen, und sie zu einem bestimmten Zeitpunkt in eine Anlage umzuwandeln, die ohne menschliches Eingreifen in der Lage ist, den Schutz von Mensch und Umwelt zu gewährleisten, solange der Abfall ein Risiko darstellt (siehe Definitionen und Grundsätze in Kasten 1 in Abschnitt 1.1).

Eine solche Lösung stellt einen Widerspruch dar in Bezug auf die Regulierung, die Grundsätze, das Konzept und die Umsetzung. Für das Konzept der Anlage wären die Anforderungen für die Gewährleistung einer Langzeitsicherheit entscheidend: Es ist nicht möglich, eine in der Tiefe gebaute Anlage, die für einige Dutzend oder Hunderte von Jahren vorgesehen und so ausgelegt ist, dass die Abfälle jederzeit daraus entnommen werden können, in eine Anlage umzuwandeln, die einen integralen Bestandteil eines Endlagerungssystems bildet und in der Lage ist, die Radionuklide und die chemischen Schadstoffe so lange wie nötig zu verschliessen und von der Biosphäre zu isolieren. Diese Möglichkeit wird im Ausland nicht berücksichtigt. Dies ist auch nicht regulatorisch vorgesehen: Es wäre unmöglich, die Sicherheitsbewertung, die für den Erhalt der Genehmigung eines Endlagers erforderlich ist, auf der Grundlage der Sicherheitsbewertung für ein Zwischenlager zu erstellen.

Die einzige Möglichkeit, ein Lager in ein Endlager „umzuwandeln“, wäre es, direkt von Anfang an ein Endlagerungssystem zu konzipieren, das die Rückholung der Abfälle für eine bestimmte Zeit ermöglicht, ohne dass die Entscheidungen, die getroffen werden, um die Rückholung zu ermöglichen, die Sicherheit und die Sicherung beeinträchtigen. *Dies würde also keinen Umbau, sondern von Anfang an direkt den Bau eines Lagers bedeuten.*

4.2 Fortschrittliche Partitionierungs- und Transmutationstechnologien

Fortschrittliche Partitionierungs- und Transmutationstechnologien werden vor allem im Zusammenhang mit der Entwicklung fortschrittlicher Kernreaktoren (Reaktoren der IV. Generation und beschleunigerbetriebene Systeme) erforscht. In erster Linie zielen sie auf eine effizientere Nutzung der natürlichen Ressourcen (hauptsächlich Uranerz) durch die Wiederverwertung abgebrannter Brennelemente ab und sollten daher zu einer Verringerung des Volumens und der Radiotoxizität hochradioaktiver Abfälle sowie zu einer Verringerung ihrer Wärmeleistung führen, was es ermöglichen würde, den Fußabdruck geologischer Endlagerungslösungen zu verringern. Sie könnten also theoretisch zur Optimierung solcher Lösungen beitragen.

Während in den heutigen Nuklearkreisläufen (Reaktoren der II. und III. Generation (im Bau befindlich)) abgebrannte Brennelemente einmal wiederaufgearbeitet werden können (aus der Wiederaufarbeitung zurückgewonnenes Uran und Plutonium wird in MOX-Brennelemente umgewandelt), würde ein abgebranntes Brennelement bei zukünftigen fortschrittlichen Nuklearkreisläufen, die fortschrittliche Trenn- und Transmutationstechnologien umfassen, in mehreren *Trenn- und Transmutationszyklen* „mehrfach wiederaufgearbeitet“ werden. In solchen Zyklen werden ausgewählte Radionuklide bei der Wiederaufarbeitung vom Rest der abgebrannten Brennelemente *getrennt* und dann in Brennelemente für fortschrittliche Kernreaktoren integriert. Die Bestrahlung dieser fortschrittlichen Brennelemente in diesem Reaktortyp führt dann zur *Transmutation* eines Teils der Radionuklide, d. h. zu ihrer Umwandlung in kurzlebige Elemente. Nach der Bestrahlung wird das „fortschrittliche“ abgebrannte Brennelement einem neuen Zyklus unterzogen.

Fortschrittliche Nuklearkreisläufe erfordern zusätzlich zu den Reaktoren der Generation IV und/oder speziellen Transmutationsanlagen (die keine Energie erzeugen) fortschrittliche Wiederaufarbeitungs- und Brennstoffherstellungsanlagen. Es wird mehrere Jahrzehnte dauern,

bis die Reaktoren der ersten Generation IV kommerziell verfügbar sind [NNL 2013; NWMO 2013]. Frankreich beispielsweise erwägt sie ausschliesslich, um seine Reaktoren der III. Generation zu ersetzen, von denen der erste noch nicht in Betrieb ist, d. h. frühestens in einem halben Jahrhundert [CNE 2019]. Alle vorgeschlagenen fortschrittlichen Systeme des Brennelementkreislaufs basieren auf der Annahme, dass die Kernkraftprogramme über Jahrzehnte oder sogar Jahrhunderte weitergeführt werden [NEA 2012; NWMO 2013; IRSN 2019a].

Nach internationalem Konsens sind fortschrittliche Partitionierungs- und Transmutations-technologien, sofern sie im industriellen Maßstab umgesetzt werden können, keine Alternative zur geologischen Endlagerung für die langfristig sichere Entsorgung von konditioniertem hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfall. Es handelt sich dabei um Technologien zur *Wiederverwertung* abgebrannter Brennelemente und nicht um Technologien zur langfristig sicheren Entsorgung [NEA 2011, 2012; Blue Ribbon Commission 2012; NWMO 2013; ASN 2016; FÖD Wirtschaft 2016a]. Sie sind weder für bereits konditionierte Abfälle noch – sowohl aus technischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen – für die in abgebrannten Brennelementen enthaltenen langlebigen Spalt- und Aktivierungsprodukte anwendbar. Nur die Transmutation der in abgebrannten Brennelementen vorhandenen Aktiniden, z. B. Americium und Neptunium, kann im industriellen Maßstab betrachtet werden [ASN 2016; CNE 2019; IRSN 2019a, 2019b]. Darüber hinaus würde die Transmutation bestimmter langlebiger Radionuklide nur dann eine spürbare Verringerung des Fußabdrucks der zukünftigen Endlagerung bringen, wenn ein fortschrittlicher Kernreaktorpark mindestens ein Jahrhundert lang betrieben würde [CEA 2015; ASN 2016].

Des Weiteren wird die Umsetzung von fortschrittlichen Partitionierungs- und Transmutations-technologien neue hochradioaktive und/oder langlebige Abfallströme erzeugen: Restabfälle, die beim Betrieb und der Stilllegung fortschrittlicher Reaktoren und/oder Umwandlungsanlagen selbst anfallen, sowie fortschrittliche Anlagen für die Wiederaufarbeitung und Brennelementherstellung [NEA 2012; Blue Ribbon Commission 2012].

Und schließlich kann laut der FANK [FANK 2010] die Entwicklung nuklearer Spitzentechnologien nicht die Wahl der langfristigen Lagerung für die Behandlung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle rechtfertigen (Abschnitt 4.1.1).

4.3 Alternativen, die gegen Vorschriften verstoßen und/oder unkontrollierbare Risiken darstellen

Verschiedene Alternativen zur geologischen Endlagerung, die teilweise vorgeschlagen werden, sind von vornherein abzulehnen. Abgesehen von der Tatsache, dass diese Alternativen gegen von Belgien unterzeichnete internationale Verträge oder Übereinkommen **(I)** und/oder gegen den gesetzlichen und regulatorischen Rahmen in Belgien **(B)** verstoßen, bieten sie allesamt keine ausreichenden Garantien in Bezug auf Sicherheit und Umweltschutz **(S)**. Allein die „einfache“ Anfangsphase der Umsetzung einiger der Alternativen – insbesondere das Verbringen in den Weltraum – birgt erhebliche Risiken. Andere Alternativen können zweifellos ungünstige Entwicklungen mit sich bringen, die durch Wissenschaft und Technik nicht kontrolliert werden können, wie z. B. die mögliche Rückkehr von Abfällen, die in ozeanischen Subduktionszonen gelagert werden, an die Oberfläche infolge Vulkanausbrüchen. Schließlich ist es nicht für alle Alternativen möglich, die erforderlichen Kenntnisse und Methoden (eingehende Charakterisierungen, Entwicklungsszenarien, mathematische Modelle usw.) zu entwickeln, um überzeugend nachzuweisen, dass sie so umgesetzt werden können, dass sie Mensch und Umwelt unter allen Umständen und so lange wie nötig vor den Risiken schützen, die von den Abfällen ausgehen.

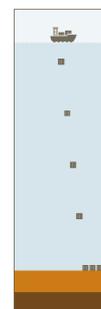
Von all diesen Alternativen, die Gegenstand von Untersuchungen in verschiedenen Ländern waren, wurde in der Vergangenheit nur die Endlagerung durch Direktinjektion von flüssigen radioaktiven Abfällen in begrenztem Umfang durchgeführt. Ihre Ungeeignetheit für die langfristig sichere Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle ist Gegenstand eines breiten Konsenses sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene unter den Verwaltern radioaktiver Abfälle und den Sicherheitsbehörden sowie innerhalb internationaler Organisationen [zum Beispiel CoRWM 2018; IRSN 2019a].

Alternativen, die von vornherein abzulehnen sind, weil sie gegen bestehende Regelwerke verstossen und/oder unkontrollierbare Risiken darstellen, werden im Folgenden kurz beschrieben, jeweils mit einem Hinweis auf die wichtigsten Rechtstexte, die zu ihrer Ausschließung führen.

I/S Die *Endlagerung im Meer* besteht darin, die radioaktiven Abfallgebinde im Meer zu versenken, wo sie frei bis auf den Meeresgrund absinken.

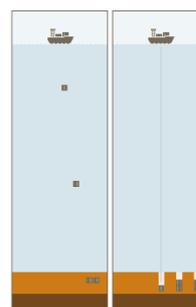
Die Londoner Konvention aus dem Jahr 1972, mit vollständigem Titel *Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen und anderen Stoffen*, von Belgien im Jahr 1985 ratifiziert, zielt auf den Schutz der Meeresumwelt ab und untersagt das Versenken von hochradioaktiven Abfällen im Meer [Londoner Konvention 1972]. Seit 1993 verbietet die Konvention die Endlagerung aller radioaktiven Abfälle im Meer.

Das OSPAR-Übereinkommen, mit vollständigem Titel *Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks*, das von Belgien im Jahr 1992 unterzeichnet und 1995 angenommen wurde, zielt auf den Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks ab und untersagt das Versenken von radioaktiven Abfällen im Meer [OSPAR-Übereinkommen 1992].



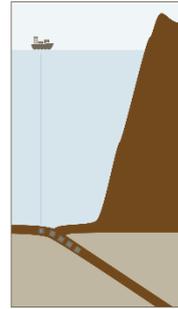
I/S Die *Endlagerung im Meeresgrund* besteht darin, die radioaktiven Abfallgebinde in Sedimente einzugraben, die den Meeresgrund bedecken. Die Gebinde sind entweder derart geformt, dass sie sich aufgrund der Schwerkraft selbständig mehrere Meter tief in die Sedimente eingraben, oder werden in kurzen Bohrlöchern gelagert.

Die Endlagerung im Meeresgrund ist ebenso verboten wie die Endlagerung durch Versenken im Meer.



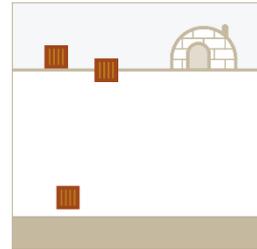
I/S Die *Endlagerung in einer ozeanischen Subduktionszone* besteht darin, die radioaktiven Abfallgebilde in der sich absenkenden tektonischen Platte einer ozeanischen Subduktionszone zu lagern, sodass sie in die tiefe Erdkruste verfrachtet werden. Dies ist eine Variante der Endlagerung durch Versenken im Meer und der Endlagerung im Meeresgrund.

Die Endlagerung in einer ozeanischen Subduktionszone ist ebenso verboten wie die Endlagerung im Meer.



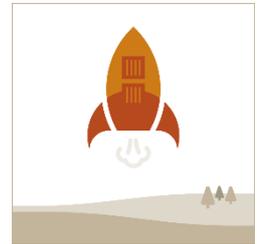
I/S Die *Endlagerung in Eisschilden* kommt nur für radioaktive Abfälle infrage, die Wärme freisetzen. Sie besteht im sukzessiven Eingraben der Abfallgebilde in einer Eisschilden infolge des allmählichen Schmelzens des Eises durch die von den Abfallgebilden freigesetzte Wärme. Das Eingraben erfolgt durch fortschreitende Neubildung von Eis oberhalb des Abfallgebildes.

Der *Antarktis-Vertrag* aus dem Jahr 1959, der 1959 von Belgien unterzeichnet und 1960 ratifiziert wurde, untersagt die Endlagerung von radioaktiven Abfällen in der Antarktis [Antarktis-Vertrag 1959]. Darüber hinaus darf gemäß Artikel 28.2 des im Jahr 1997 von Belgien unterzeichneten und 2002 ratifizierten *Gemeinsamen Übereinkommens* [IAEO 1997] eine Vertragspartei keine Genehmigung für die Beförderung ihrer abgebrannten Brennelemente oder radioaktiven Abfälle an einen südlich von 60 Grad südlich gelegenen Bestimmungsort zur Lagerung oder Endlagerung erteilen.



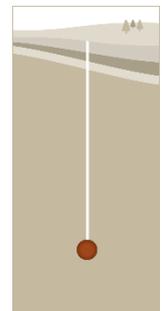
I/S Die *Endlagerung im Weltraum* besteht darin, die konditionierten radioaktiven Abfälle zum Beispiel mit einer Rakete in den Weltraum zu schießen, sodass diese in die Erdumlaufbahn gelangen oder sogar das Gravitationsfeld der Erde verlassen.

Obwohl der Weltraumvertrag, mit vollständigem Titel *Vertrag über die Grundsätze zur Regelung der Tätigkeiten von Staaten bei der Erforschung und Nutzung des Weltraums einschließlich des Mondes und anderer Himmelskörper* [Weltraumvertrag 1967] aus dem Jahr 1967 die Endlagerung im Weltraum nicht vollständig untersagt, macht er sie dennoch praktisch unmöglich, da Staaten, die Objekte in den Weltraum befördern, grundsätzlich unbegrenzt für daraus resultierende Schäden haften. Dieser Vertrag, der als Antwort auf die Besorgnis über das Wettrüsten angenommen wurde, wurde 1967 von Belgien unterzeichnet und 1973 ratifiziert.



B/S Die *Endlagerung durch Verschmelzung mit dem Wirtgestein* kommt nur für radioaktive Abfälle infrage, die sehr viel Wärme freisetzen. Sie besteht entweder darin, die Abfälle in flüssiger oder schlammartiger Form in ein Wirtgestein zu injizieren oder die konditionierten Abfälle in fester Form in Bohrlöcher einzubringen. In beiden Fällen verflüssigt sich die die Abfälle umgebende Formation unter der Wärmewirkung, was die Abfälle, unter dem Einfluss der Schwerkraft, noch tiefer einsinken lässt. Sobald die Abfälle abgekühlt sind, verfestigt sich die sie umgebende Formation wieder und bildet auf diese Weise einen natürlichen Einschluss der Abfälle.

Artikel 34.1 der *Allgemeinen Ordnung über den Schutz gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen* [Belgien 2001] verbietet die Freisetzung flüssiger radioaktiver Abfälle in den



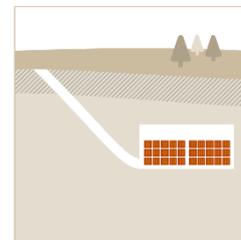
Untergrund und somit die erste Variante der Endlagerung durch Verschmelzung mit dem Wirtgestein. Die Variante der Endlagerung durch Verschmelzung mit dem Wirtgestein, die das Einbringen von konditioniertem Abfall in Bohrlöcher vorsieht, scheint durch den gesetzlichen Rahmen nicht explizit verboten zu sein, würde aber, sofern sie jemals technisch durchführbar ist, unkontrollierbare Risiken mit sich bringen.

B/S Die *Endlagerung durch direkte Injektion* kommt nur für radioaktive Abfälle in flüssiger Form in Betracht. Sie besteht darin, diese in ein tiefes Wirtgestein zu injizieren.

Artikel 34.1 der *Allgemeinen Ordnung über den Schutz gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen* verbietet die Freisetzung flüssiger radioaktiver Abfälle in den Untergrund und somit die Endlagerung durch direkte Injektion.



I/S Die *Oberflächen- oder oberflächennahe Lagerung* besteht aus dem Einbringen von radioaktiven Abfallgebinden in eine speziell konzipierte Anlage, die an der Oberfläche, d. h. oberirdisch bzw. bis zu einer Tiefe von etwa 30 Metern gebaut würde [IAEO 2009]. Eine solche Anlage besteht in der Regel aus für die Aufnahme der radioaktiven Abfallgebinde vorgesehenen Betonmodulen. Diese Module werden durch ein gering durchlässiges Schutzsystem von Regen- und Abflusswasser und/oder, je nach Konstellation, von unterirdischen Gewässern isoliert.



Es besteht ein internationaler Konsens, dass die oberflächennahe oder unter der Oberfläche gelegene Endlagerung von konditionierten hochradioaktiven Abfällen oder Abfällen der Kategorie C sowie von konditionierten langlebigen Abfällen der Kategorie B nicht in der Lage sind, die Langzeitsicherheit zu gewährleisten.

5 Schnittstellen des Plans zu anderen relevanten Plänen und Programmen oder gültigen relevanten Politiken

Die Pläne, Programme oder Politiken, die auf föderaler Ebene in Kraft sind und sich auf den *in dieser Phase betrachteten* Plan beziehen, sind solche, die sich direkt mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle oder deren Erzeugung befassen oder in direkter Verbindung damit stehen. Sie werden wie folgt identifiziert:

- *Das Nationalprogramm für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle* [FÖD Wirtschaft 2016b], erstellt in Anwendung des Gesetzes vom 3. Juni 2014. Es stellt das Programm für die Umsetzung der nationalen Politik für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle dar. Darin werden die fehlenden Politiken identifiziert, wie die bezüglich der langfristig sicheren Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle.
- *Das Programm zur oberflächennahen Endlagerung von konditionierten schwach- und mittelradioaktiven sowie kurzlebigen Abfällen, sowie Abfällen der Kategorie A der NERAS* [NERAS 2010, 2019a]. Durch Beschluss der Bundesregierung vom 16. Januar 1998 und 23. Juni 2006 [Ministerrat 1998, 2006] sind diese Abfälle zur Einbringung in ein oberflächennahes Endlager auf dem Gebiet der Gemeinde Dessel bestimmt. Das Programm für die Endlagerung von Abfällen der Kategorie A ist insofern mit dem Plan verbunden, dass die zukünftige nukleare Bewilligung für die Errichtung und den Betrieb, die derzeit von der FANK instruiert wird, wahrscheinlich nicht, aus physikalisch-chemischen Gründe, die oberflächennahe Endlagerung bestimmter Abfälle genehmigen wird, die die NERAS für diese Anlage vorgesehen hat. Diese Abfälle werden in das Referenzinventar des Plans aufgenommen, nachdem sie, sofern noch nicht geschehen, mit der geologischen Endlagerung kompatibel gemacht wurden.
- *Das Gesetz vom 31. Januar 2003 über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie für industrielle Stromerzeugung* [Belgien 2003], und insbesondere die Gesetze zur Abänderung vom 18. Dezember 2013 und 28. Juni 2015. Das modifizierte Gesetz aus dem Jahr 2003 untersagt den Bau neuer Kernkraftwerke und schließt nun gegebenenfalls die Möglichkeit zur Verlängerung der Betriebsbewilligung der existierenden Kernkraftwerke aus. Vorhandene und zukünftige Betriebsabfälle (einschließlich abgebrannter Brennelemente, die als Abfall und/oder Wiederaufarbeitungsabfälle deklariert werden) sowie zukünftige Stilllegungsabfälle der Kategorien B und C werden in das Basisinventar aufgenommen. Selbst wenn die Betriebsdauer einiger Anlagen weiter verlängert würde, würden die zusätzlich anfallenden radioaktiven Abfälle und der längere Produktionszeitplan die geologische Endlagerungslösung und den allgemeinen Ansatz der Umweltverträglichkeitsprüfung nicht infrage stellen.

Schnittstellen (und mögliche Konflikte) mit anderen Plänen, Programmen oder Politiken auf internationaler, europäischer, nationaler oder regionaler Ebene könnten in späteren Phasen der Umweltverträglichkeitsprüfung der geologischen Endlagerung auftreten (Wahl des Standorts, Wahl eines genau definierte Lagerkonzepts usw.). Eine Analyse der Verbindungen, beispielsweise mit Plänen, die die Raumnutzung in den Regionen regeln, wie die Regionalen Pläne in der Wallonischen Region und die Territorialen Ausführungspläne in der Flämischen Region, sowie mit Plänen oder Programmen, die die Gewässer- und die Bodennutzung betreffen, ist verfrüht. Keiner dieser Pläne, keines der Programme und keine der Politiken dürfte jedoch Auswirkungen auf die Entscheidung haben, ob die geologische Endlagerung als Grundlage für die nationale Politik zur langfristig sicheren Entsorgung von konditioniertem hochradioaktivem und/oder langlebigem Abfall gewählt wird oder nicht.

Schließlich hat die mangelnde Gewissheit über das Schicksal abgebrannter Brennelemente aus kommerziellen Kernreaktoren (Aufhebung des De-facto-Moratoriums von 1993 für die Wiederaufarbeitung oder die direkte Endlagerung) Auswirkungen auf das Inventar der zu

entsorgenden konditionierten Abfälle (Abschnitt 2.4), nicht aber auf die Entsorgungslösung, die Gegenstand des Plans ist.

6 Inhalt der SUP

In diesem Kapitel werden die Typen der Umweltauswirkungen identifiziert, deren Prüfung am Ende des Scoping-Verfahrens unter Berücksichtigung des konzeptionellen und allgemeinen Charakters des Plans als relevant erachtet wurde (Abschnitt 6.1.2). Da der SUP Teil eines übergeordneten Plans ist, werden auf diese erste, vorläufige (beschreibende) Prüfung weitere spezifischere und detailliertere Umweltverträglichkeitsprüfungen auf verschiedenen Ebenen folgen. Aus Gründen der Klarheit werden in diesem Kapitel auch die Auswirkungen aufgeführt, die in späteren Phasen der stufenweisen Umweltverträglichkeitsprüfung geprüft oder erneut untersucht werden (Abschnitt 6.1.1). Abschließend wird erklärt warum es derzeit nicht möglich ist, grenzüberschreitende Umweltverträglichkeitsprüfungen durchzuführen (Abschnitt 6.2).

6.1 Zusammenfassung der Screening- und Scoping-Verfahren und Ergebnis

Das *Scoping* stellt die erste Phase der Erstellung einer strategischen Umweltverträglichkeitsprüfung für einen Plan dar. Es zielt darauf ab, den Umfang und den Detaillierungsgrad dieser Prüfung abzugrenzen.

Angesichts des konzeptuellen und allgemeinen Charakters des Plans hat die NERAS die in der SUP zu prüfenden Umweltauswirkungen ermittelt, indem sie – in vereinfachter Form – das vom FÖD Volksgesundheit [FÖD Volksgesundheit 2007c, 2007d] festgelegte Scoping-Verfahren anwendet (Abschnitt 6.1.2). Das Scoping selbst wurde von den Ergebnissen des *Screening*-Verfahrens gespeist, das ebenfalls vom FÖD Volksgesundheit eingeführt wurde [FÖD Volksgesundheit 2007a, 2007b] (Abschnitt 6.1.1).

In Anwendung des Gesetzes vom 13. Februar 2006 legt die NERAS dem Beratungsausschuss den SUP-Scoping-Bericht oder den *Entwurf des Inhaltverzeichnis* des Plans vor. In seiner Stellungnahme (Anhang 3) empfiehlt der Ausschuss einige Änderungen am Entwurf des Inhaltverzeichnis vorzunehmen. Die Änderungen bezüglich der Screening- und Scoping-Verfahren werden im vorliegenden Abschnitt behandelt.

6.1.1 Screening

Das Screening hat es ermöglicht, potenzielle Umweltauswirkungen zu identifizieren, die sich aus den Aktivitäten des Plans ergeben, und zu prüfen ob die Untersuchung dieser im Rahmen der SUP relevant ist. Zusätzlich zu den relevanten Auswirkungen und den Auswirkungen, deren Relevanz unbekannt ist, unterscheidet die NERAS zwischen denjenigen Auswirkungen, die sie bereits kennt oder bei denen sie praktisch sicher ist, dass sie nie geprüft werden müssen, und denjenigen Auswirkungen, die in einer späteren Phase der stufenweisen Umweltverträglichkeitsprüfung zu prüfen sind. Darüber hinaus wurden vier Auswirkungen hinzugefügt: die „Veränderung des Untergrundes“ und, um den wärmeerzeugenden Charakter der konditionierten hochradioaktiven Abfälle zu berücksichtigen, die „Veränderung der Grundwassertemperatur“, die „Veränderung der Bodentemperatur“ und die „Veränderung der Temperatur des Untergrundes“.

Angesichts des konzeptuellen und allgemeinen Charakters des Plans,

- dessen Prüfbereich das gesamte belgische Staatsgebiet ist
- und für den die NERAS
 - ▶ weder das genaue Inventar der betroffenen Abfälle *in fine*,
 - ▶ noch das umzusetzende Lagerkonzept
 - ▶ und erst recht nicht dessen Ausführungsmodalitäten kennt,

hat die NERAS die folgenden Prüfungen der Umweltauswirkungen *in dieser Phase* für irrelevant betrachtet:

- *die im Verfahren als standortabhängig identifizierten Umweltauswirkungen*, nämlich
 - ▶ die Veränderung der Landschaft / des Meerblicks;
 - ▶ die physische Veränderung von Denkmälern, das Erscheinungsbild von Städten und Dörfern, Schiffswracks ...;
 - ▶ die visuelle Veränderung von Denkmälern, das Erscheinungsbild von Städten und Dörfern ... (einschließlich Verlust des Kontextes);
 - ▶ die Auswirkung auf die Biodiversität ((intra- und interspezifischer) Verlust von Arten, Verlust von Landschaftsflächen, Fragmentierung);
- ganz allgemein die *erwarteten Umweltauswirkungen eines geologischen Endlagerprojekts, die nicht spezifisch für dieses Projekt sind; diese Auswirkungen sind vergleichbar mit den Auswirkungen eines Industrieprojekts vom Typ „Behandlung und Konditionierung radioaktiver Abfälle“*, dessen Durchführung teilweise von den eingesetzten Technologien abhängt, d. h.
 - ▶ die Veränderung des archäologischen Erbes;
 - ▶ der Einfluss auf die Luft:
 - ▶ der Einfluss auf den Menschen aufgrund von Lärm, visueller und olfaktorischer Verschmutzung, Staub etc.;
 - ▶ der Einfluss auf die menschlichen Aktivitäten;
 - ▶ der Einfluss auf die Biodiversität durch Auswirkungen auf Ebene der Genetik, der Arten und des Ökosystems;
- *drei Auswirkungen auf den Boden*, und zwar
 - ▶ die Veränderung der Empfindlichkeit gegenüber der Bodenerosion;
 - ▶ die Veränderung der Empfindlichkeit gegenüber der Austrocknung des Bodens;
 - ▶ die Veränderung des Grundwasserregimes.

Darüber hinaus wurden folgende Auswirkungen ermittelt, bei denen die NERAS weiß oder praktisch sicher ist, dass sie niemals geprüft werden müssen:

- für die Auswirkungen auf die Oberflächengewässer (Flüsse, Seen und das Meer):
 - ▶ die Veränderung der hydraulischen Eigenschaften von Wasserläufen (Gefälle, Rauigkeit, Querschnitt);
 - ▶ die Veränderung der Geschwindigkeit und Richtung des Flusses von Oberflächengewässern (Flüsse, Seen und das Meer);
 - ▶ die Veränderung des Durchflusses von Oberflächengewässern;
 - ▶ die Veränderung des Gezeitenregimes (Symmetrie, Länge, Geschwindigkeit);
 - ▶ die Veränderung der Salinität (Salzgehalt, Schwankung) von Oberflächengewässern (Flüsse, Seen und das Meer);
 - ▶ die Veränderung des Sedimentations- und Erosionsregimes von Oberflächengewässern (Flüsse, Seen und das Meer);
 - ▶ die Veränderung des Überschwemmungsregimes (Flüsse, Seen und das Meer);
 - ▶ die Veränderung der Selbstreinigungsvermögen von Oberflächengewässern (Flüsse, Seen und das Meer);
 - ▶ die Veränderung des Gewässeruntergrunds (einschließlich des Meeresuntergrunds);
 - ▶ die Veränderung der Struktur des Gewässeruntergrunds (einschließlich des Meeresuntergrunds);
- für den Einfluss auf das Grundwasser:
 - ▶ die Übernutzung der Grundwasserreserven;
 - ▶ die Versalzung des Grundwassers;
- für den Einfluss auf das Klima:
 - ▶ die klimatischen Veränderungen;
- für den Einfluss auf den Boden:
 - ▶ die Versalzung des Bodens.

Die Auswirkungen, die zu diesem Zeitpunkt als irrelevant angesehen werden, werden in späteren Phasen der nationalen Politik für die langfristig sichere Entsorgung von konditioniertem hochradioaktivem und/oder langlebigem Abfall und bei der Beantragung von Bewilligungen geprüft. Die (fast) sichere Irrelevanz einiger Auswirkungen, egal in welcher Phase der Prüfung, wird ebenfalls zu einem späteren Zeitpunkt überprüft werden.

Infolgedessen wurden am Ende des Screening-Verfahrens als relevant erachtet:

- die Auswirkungen auf die Oberflächengewässer,
- die Auswirkungen auf das Grundwasser,
- die Auswirkungen auf den Boden,
- die Auswirkungen auf den Untergrund,
- die Auswirkung auf die menschliche Gesundheit;
- die allgemeine Auswirkung auf die Biodiversität, zurzeit interpretiert als die Auswirkung auf die Fauna und Flora.

6.1.2 Scoping

Da der Plan durch einen außergewöhnlich langen Zeithorizont gekennzeichnet ist, weil die Abfälle für einige hunderttausend und z.T. bis zu einer Million Jahre von Mensch und Umwelt isoliert werden müssen, stellte sich die Frage nach dem Betrachtungszeitraum für die Umweltverträglichkeitsprüfung.

Da sich die Art und Bedeutung der Umweltauswirkungen sowohl bei der geologischen Endlagerung in Stollen als auch bei der geologischen Endlagerung in tiefen Bohrlöchern im Laufe der Zeit ändern, hat die NERAS sich dazu entschieden, zwischen den Auswirkungen „vor dem Verschluss“ und den Auswirkungen „nach dem Verschluss“ zu unterscheiden und sie separat zu überprüfen. Die Begriffe „Zeitraum vor dem Verschluss“ und „Zeitraum nach dem Verschluss“ werden wie folgt beschrieben.

- Der *Zeitraum vor dem Verschluss* bezeichnet den Zeitraum vom Erhalt einer nuklearen Genehmigung zum Bau und zum Betrieb eines geologischen Endlagers im Sinne der Allgemeinen Ordnung über den Schutz von den Gefahren ionisierender Strahlung [Belgien 2001] bis zum vollständigen Verschluss von der Untertageanlage und dem teilweisen oder vollständigen Rückbau der Oberflächenanlagen. Während dieser Zeit treten menschliche Aktivitäten auf, die Umweltauswirkungen verursachen können, wie z. B. die Vorbereitung, der Bau, der Betrieb, die Stilllegung von Endlagerbereichen, der Verschluss von Schächten und einer allfälligen Zugangsrampe sowie der Rückbau von oberflächennahen Anlagen. Die Dauer des Zeitraums vor dem Verschluss beträgt etwa hundert Jahren, je nachdem, ob sich künftige Generationen dafür entscheiden werden, die Untertageanlage *vollständig* zu verschliessen, sobald sie außer Betrieb ist. Der vollständige Verschluss kann auch verzögert werden, um z. B. eine genaue Überwachung des Systemverhaltens zu ermöglichen, aber dieser verzögerte Verschluss darf weder die Sicherheit noch die Sicherung gefährden.
- Der *Zeitraum nach dem Verschluss* beginnt nach dem die Untertageanlagen komplett verschlossen sind und die Oberflächenanlagen teilweise oder vollständig rückgebaut sind. Er entspricht dem Zeitraum, in dem die Sicherheit des Lagersystems auf passive Weise durch das System selbst (technische und natürliche Barrieren) gewährleistet wird. Die einzigen zu erwartenden Auswirkungen sind daher diejenigen, die sich aus der natürlichen Entwicklung ergeben.

Da die NERAS weder das Wirtgestein noch den Standort, an dem der Plan umgesetzt werden soll, noch das zu realisierende Lagerkonzept, geschweige denn seine Umsetzungsmethoden kennt, wurde das Scoping der Umweltauswirkungen, die sich aus dem Screening ergeben, im Vergleich zum Scoping-Verfahren stark vereinfacht. Die Umweltauswirkungen wurden ausschliesslich hinsichtlich der folgenden vier Aspekten untersucht:

- Risiko, dass die Auswirkung tatsächlich eintritt;

- Ausmaß der Veränderungen, die eintreten werden;
- grenzüberschreitenden Charakter der Auswirkung auf die Umwelt;
- räumliche Ausdehnung der Auswirkung.

Die Prüfung der anderen Aspekte wurde in der Tat als zu spekulativ und in jedem Fall als unwahrscheinlich angesehen, als dass sie die Gesamtsicht, die die Prüfung der vier ausgewählten Aspekte ergibt, verändern würde.

Daher wurde das Scoping erst in der finalen Phase des In-/Out-Scopings durchgeführt, um die in der SUP zu überprüfenden Auswirkungen genau identifizieren zu können. Tatsächlich ist es noch nicht möglich, auf fundierte Weise zwischen bestimmten Auswirkungen auf Oberflächengewässer, Grundwasser, Boden und Untergrund zu unterscheiden. Daher haben das Scoping für den Zeitraum vor dem Verschluss und das Scoping für den Zeitraum nach dem Verschluss im Wesentlichen eher *Gruppen von zu überprüfenden Auswirkungen*, als Listen von Auswirkungen geliefert, die in der SUP zu überprüfen sind.

Die Gruppen der Umweltauswirkungen, die im Scoping identifiziert wurden, entsprechen den Themen Biodiversität, Gesundheit des Menschen, Fauna, Flora, Boden und Wasser des Gesetzes vom 13. Februar 2006, Anhang II Punkt 6. Spezifischere und detailliertere Umweltverträglichkeitsprüfungen werden letztlich immer dann durchgeführt, wenn der gesetzliche und regulatorische Rahmen dies erfordert, insbesondere bei der Wahl des Standorts und bei Genehmigungsanträgen für das Lagerkonzept das letztlich zur Umsetzung vorgeschlagen wird. Sie werden auch die Bevölkerung, die Luft, materielle Güter, das kulturelle Erbe einschließlich der architektonisch wertvollen Bauten und der archäologischen Schätze und die Landschaft abdecken und die Irrelevanz der Auswirkungen auf das Klima überprüfen. Letztendlich werden die relevanten Umweltauswirkungen des Plans, wie er durch einen Entwurf konkretisiert werden soll, im Detail geprüft.

6.1.2.1 Ergebnisse für den Zeitraum vor dem Verschluss

Die während des Scopings identifizierten und in der SUP für den Zeitraum vor dem Verschluss zu prüfenden Umweltauswirkungen sind:

- die Gruppe der Auswirkungen auf die Oberflächengewässer,
- die Gruppe der Auswirkungen auf das Grundwasser,
- die Gruppe der Auswirkungen auf den Boden,
- die Veränderung des Untergrunds,
- die Veränderung der Temperatur des Untergrundes,
- die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit,
- die allgemeinen Auswirkungen auf die Biodiversität, zurzeit als Auswirkung auf die Fauna und Flora.

wobei bei den Gruppen der Auswirkungen auf Wasser und Boden, die in mehrere sehr spezifische Auswirkungen unterteilt sind, in dieser Phase schwierig zu beurteilen ist, welche letztendlich relevant sein werden und welche nicht.

Die Umweltauswirkungen von Aktivitäten zur Wiederherstellung des Standorts in einem weniger oder nicht bebauten Zustand werden, soweit möglich, in späteren Phasen der nationalen Politik zur langfristigen sicheren Entsorgung von konditioniertem hochradioaktivem und/oder langlebigem Abfall geprüft. Tatsächlich

- liegen die Entscheidungen über die Wiederherstellung des Standorts in an der Oberfläche weniger oder nicht bebauten Zustand vollständig in der Verantwortung zukünftiger Generationen;
- würden die Umweltauswirkungen der Aktivitäten, die für die Wiederherstellung des Standorts in einen oberflächennah weniger oder nicht bebauten erforderlich Zustand sind, durch den Umweltnutzen dieser Wiederherstellung ausgeglichen.

6.1.2.2 Ergebnisse für den Zeitraum nach dem Verschluss

Die während des Scopings identifizierten und in der SUP für den Zeitraum nach dem Verschluss zu prüfenden Umweltauswirkungen sind:

- die Gruppe der Auswirkungen auf das Grundwasser,
- die Gruppe der Auswirkungen auf den Boden,
- die Gruppe der Auswirkungen auf den Untergrund,
- die Auswirkung auf die menschliche Gesundheit,

wobei das Scoping insbesondere die folgenden sieben Auswirkungen zur Prüfung empfiehlt:

- *die Veränderung des Grundwassers* durch eutrophierende, sauerstoffzehrende, radioaktive Substanzen oder Krankheitserreger, die toxisch für Mensch oder Umwelt sind;
- *die Temperaturveränderung des Grundwassers;*
- *die Veränderung des Bodens* aufgrund von Veränderungen des Gehalts an Pflanzennährstoffen im Boden, die für Mensch oder Umwelt giftig sind, oder aufgrund von Veränderungen des Säuregehalts;
- *die Veränderung der Bodentemperatur;*
- *die Veränderung des Untergrunds;*
- *die Veränderung der Untergrundtemperatur;*
- *die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit*, beispielsweise als Folge einer ständigen Exposition gegenüber toxischen Substanzen (direkte Exposition, Inhalation, Aufnahme von Substanzen über das Wasser oder Lebensmittel usw.).

6.2 Unmöglichkeit der Prüfung grenzüberschreitender Auswirkungen

Da die Umweltverträglichkeitsprüfungen der geologischen Endlagerung vorläufiger Natur sind, im Wesentlichen beschreibend und nicht standortspezifisch sind, ist es zu diesem Zeitpunkt nicht möglich, die grenzüberschreitenden Auswirkungen des Plans zu prüfen. Darüber hinaus *sind aufgrund der Art und des Zwecks eines geologischen Endlagersystems, d. h. Einschluss und Isolierung radioaktiver Stoffe, soweit erforderlich, die zu erwartenden Umweltauswirkungen nach dem vollständigen Verschluss im Wesentlichen lokal und gering.* Die grenzüberschreitenden Umweltauswirkungen vor und nach dem Verschluss werden in späteren Stadien geprüft. Die radiologischen Auswirkungen eines Endlagerungssystems, insbesondere für den Zeitraum nach dem Verschluss, werden im Rahmen der am ausgewählten Standort durchzuführenden Sicherheitsbewertung für das Endlager geprüft.

Der SUP-Beratungsausschuss hat in seiner Stellungnahme über den Entwurf des Inhaltsverzeichnisses [SUP-Ausschuss 2019] (Anhang 3) die Position der NERAS bestätigt.

Dennoch hat die NERAS, zusätzlich zu den gesetzlichen Vorgaben,

- nach Erhalt der Stellungnahme des SUP-Beratungsausschusses zum Entwurf des Inhaltsverzeichnisses und wie in eben jenem vorgeschlagen, die offiziellen SUP-Repräsentanten der Mitgliedstaaten der Europäischen Union über die Art des Plans und der SUP informiert;
- auf ihrer Webseite für eine Veröffentlichung des Plans und der SUP auf Deutsch, Französisch und Niederländisch gesorgt.

7 Referenzsituation und voraussichtliche Entwicklung bei Nichtdurchführung des Plans

In Ermangelung der Möglichkeit, „die relevanten Aspekte des Umweltzustands“ (Gesetz vom 13. Februar 2006, Anhang II, Punkt 2) zu beschreiben, der in der – noch unbekannt – Standortgebiet vorliegt und vom Plan abgedeckt wird, betrachtet die SUP die aktuelle Situation der oberflächennahen Zwischenlagerung als Referenzsituation¹¹ (Abschnitt 7.1). Sie skizziert die Entwicklung dieser Situation, einschließlich eines Überblicks über die möglichen Auswirkungen auf die Umwelt, wenn der Plan nicht durchgeführt wird und daher für den Fall, dass die Umweltproblematik der Abfälle auf lange Sicht nicht endgültig durch die Endlagerung gelöst wird (Abschnitt 7.2).

7.1 Oberflächennahe Zwischenlagerung

Die Referenzsituation ist die derzeitige oberflächennahe Zwischenlagerung von konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen in Dessel bis zu deren geologischen Endlagerung (Abschnitt 7.1.1). Eng verbunden mit der Referenzsituation ist die Situation der Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen aus den Kernkraftwerken Doel und Tihange an den Standorten der Kraftwerke (Abschnitt 7.1.2). Diese Brennelemente sind bei der NERAS aktuell von deren Besitzer Synatom nicht als radioaktiver Abfall deklariert, aber sind in das Referenzinventar (konform zur Hypothese von Synatom bezüglich Wiederaufarbeitung vom 31. Dezember 2018) integriert. Bei Nichtdurchführung des Plans wird die Lagerung abgebrannter Brennelemente in den Kraftwerken jedoch dieselben Probleme aufwerfen wie die Lagerung von konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen in Dessel. Die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente ist folglich in den Festlegungen bezüglich der Referenzsituation eingeflossen.

Die Zwischenlagerung ist ein notwendiger Schritt bei allen Entsorgungsoptionen von radioaktiven Abfällen überall auf der Welt. Sie ist zuverlässig und sicher, wenn sie Gegenstand eines angemessenen aktiven Umgangs ist. Dieser Umgang umfasst die Überwachung, Instandhaltung und Renovierung von Gebäuden und ihrer Ausrüstung, damit sie ihre bei der Planung festgelegte Lebensdauer erreichen oder sogar verlängern können. Ebenso muss die Integrität von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen regelmäßig überprüft werden, damit gegebenenfalls Korrekturmaßnahmen ergriffen werden können.

7.1.1 Zwischenlagerung von konditionierten hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen

Die sechs Zwischenlagergebäude der NERAS befinden sich in Dessel an einem Standort, der von ihrer industriellen Tochtergesellschaft Belgoprocess betrieben wird. Sie wurden entsprechend den radiologischen Merkmalen der Abfälle, die sie beherbergen sollen, konzipiert und werden gemäß den Bedingungen ihrer nuklearen und umweltrechtlichen Genehmigungen betrieben. Sie unterliegen der Überwachung durch die FANK. Sie haben eine Lebensdauer von etwa 75 Jahren, die von der NERAS vorbehaltlich der Genehmigung durch die FANK für einige von ihnen um etwa 100 Jahre oder sogar noch etwas länger verlängert werden könnte (Tabelle 7). Sie erreichen allmählich die Kapazitätsgrenze, weshalb Kapazitätserweiterungen geplant sind. Die Betriebsausrüstungen (Handhabung, Steuerung

¹¹ Die Referenzsituation bezieht sich im Prinzip auf die relevanten Aspekte der Umweltsituation, die in dem – noch unbekannt – Bereich, der vom Plan abgedeckt wird und in dem sie voraussichtlich erhebliche Umweltauswirkungen haben wird; die erwartete Entwicklung bei Nichtdurchführung des Plans bezieht sich auf die Entwicklung dieser relevanten Aspekte.

und Regelung, Lüftung usw.) weisen eine kürzere Lebensdauer aus, die je nach Art der Betriebsausrüstung zwischen etwa 15 und 30 Jahren liegt, und je nach Bedarf überholt oder ersetzt werden.

Tabelle 7 – Haupteigenschaften der Lagergebäude für konditionierte Abfälle bei Belgoprocess in Bezug auf die erwartete Betriebsdauer, die Kapazität und den Abfall, den sie am 31. Dezember 2018 enthielten (einschließlich ausgedienter versiegelter Quellen).

Gebäude	Inbetriebnahme	Erwartetes Betriebsende	Abfallkategorien	Kapazität [m ³]	Füllgrad [%]	Volumen [m ³]	Aktivität [Bq]	
							α	β-γ
127	1976	2040	A + insbesondere B	4.700	83	3.900	3,4 10 ¹⁴	4,6 10 ¹⁶
129	1985	2090	B	250	86	215	1,7 10 ¹⁵	3,7 10 ¹⁷
136-Zone X	2000	2130	C	106	66	70 (verglasst)	8,1 10 ¹⁶	5,9 10 ¹⁸
136-Zone D	2009	2130	B	600	26	154	2,1 10 ¹⁴	4,6 10 ¹⁶
150	1986	2045	A + B	1.900	100	1.900	1,9 10 ¹²	2,2 10 ¹⁴
151	1988	2050	A + B	14.700	97	14.253	5,4 10 ¹³	1,1 10 ¹⁵
155	2006	2090	B	4.221	91	3.822	1,9 10 ¹⁵	1,7 10 ¹⁶

Zur Veranschaulichung werden im Folgenden kurz das älteste und das neueste Gebäude beschrieben (Abbildung 12):

- Das im Jahr 1976 in Betrieb genommene Gebäude 127, in dem hauptsächlich konditionierter Abfall mittlerer Aktivität aufbewahrt wird, besteht aus vier belüfteten Bunkern mit 80 cm dicken Stahlbetonwänden und einem 75 cm dicken Dach.
- Das im Jahr 2000 in Betrieb genommene Gebäude 136 ist für die Lagerung von verglasten hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus den Kernkraftwerken Doel und Tihange sowie für die Lagerung von konditionierten mittelradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen und Forschungsbrennstoffen vorgesehen. Es ist belüftet und wurde entwickelt, um verschiedenen Arten von Ereignissen standzuhalten (Absturz eines Militärflugzeugs, Erdbeben, Sturm/Orkan, Explosion, Brand, Überschwemmung usw.).
 - ▶ Die verglasten hochradioaktiven Abfälle werden in vertikalen Schächten in Zwischenlagermodulen. Die Betonwänden sind insgesamt 180 cm dick, wovon 140 cm stark armiert sind. Die Deckplatte ist 170 cm dick.
 - ▶ Die anderen Abfallarten werden in einem Zwischenlagermodul mit bis zu 170 cm dicken Stahlbetonwänden zwischengelagert.

Die Umweltauswirkungen der aktiven Behandlungstätigkeiten sind gering. Die Auswirkungen des Vorhandenseins der zwischengelagerten Abfälle selbst bleiben innerhalb der zulässigen Grenzwerte [FANK 2019]: Die Wanddicken der Gebäude werden so ausgelegt, dass die Dosisleistungen außerhalb der Module den Dosisgrenzwerten für die Arbeiter entsprechen, die durch die allgemeine Ordnung über den Schutz gegen die Gefahren ionisierender Strahlung festgelegt sind. Es gibt hier weder flüssige noch gasförmige Austritte.

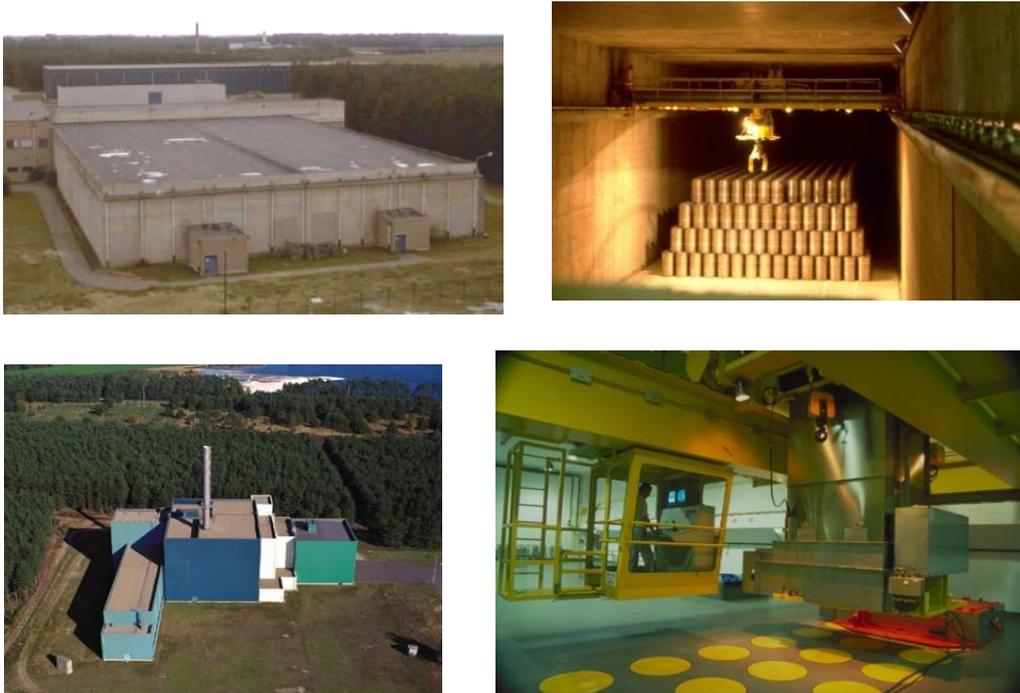


Abbildung 12 – Zwischenlagerung in Dessel. Oben: Gebäude 127 für die Zwischenlagerung von konditionierten mittelradioaktiven Abfällen; unten: Gebäude 136, Zone-X für die Zwischenlagerung von konditionierten hochradioaktiven Abfällen.

7.1.2 Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen

Abgebrannte Brennelemente aus den Kernkraftwerken Doel und Tihange werden von der Gesellschaft Electrabel unter ihrer Verantwortung und gemäß den Bedingungen der Atom- und Umweltgenehmigungen an den Standorten der Kraftwerke zwischengelagert. Am 31. Dezember 2017 wurden 2.590 t SM abgebrannter Brennelemente zwischengelagert, was 60 % des gesamten Brennstoffs entspricht, der seit der Inbetriebnahme in den Reaktoren endgültig entladen wurde¹² [Belgien 2018]:

- Trockenlager, in Metallbehältern, in Doel;
- Nasslager, in Tihange.

Die Umweltauswirkung dieser Zwischenlagerung, die der Überwachung durch die FANK unterliegt, bleibt innerhalb der zulässigen Grenzwerte [FANK 2019].

Die Kapazitäten für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in Doel und Tihange, die Ende 2017 zu etwa 61 % bzw. 78 % genutzt wurden, werden vor dem vollständigen Atomausstieg im Jahr 2025 ausgeschöpft sein. Bis dahin werden voraussichtlich zwei neue Trockenzwischenlager in Behältern – eines an jedem Standort – in Betrieb sein.

Die existierenden Anlagen für die Zwischenlagerung können wie folgt beschrieben werden:

- Die Anlage zur trockenen Zwischenlagerung in Doel wurde 1995 in Betrieb genommen. Es schützt die Behälter für abgebrannte Brennelemente und die Gebäudeausrüstung vor der Witterung und bietet zusätzlich zu der von den Behältern gewährleisteten Abschirmung eine weitere radiologische Abschirmung. Dabei handelt es sich um spezielle Transport- und Lagerbehälter, die jeweils etwa 30 abgebrannte Brennelemente enthalten und wichtig sind für die Kritikalitätskontrolle, d. h. die Kontrolle des Risikos einer

¹² Der Restbetrag der definitiv entladenen abgebrannten Brennelemente ist wiederaufarbeitet worden oder wird noch in den Abklingbecken des Reaktors gelagert.

unkontrollierten Kernspaltungskettenreaktion. Sie strahlen Wärme ab, die durch eine natürliche Lüftung abgeführt wird. Sie sind so ausgelegt, dass sie dem Aufprall eines Militärflugzeugs und einem daraus möglicherweise resultierenden Kerosinbrand und Gebäudeeinsturz standhalten. Sie haben eine nominelle Lebensdauer von 50 Jahren, die verlängert werden kann.

- Das Nasslager in Tihange wurde 1997 in Betrieb genommen. Es ist gepanzert, um externe Ereignisse (Aufprall eines Militärflugzeugs, Erdbeben, Explosion) zu überstehen. Es verfügt über acht Becken, die mit Geräten zur Kontrolle der Kritikalität ausgestattet sind. Die Nasslagerung erfordert eine strenge Kontrolle des Mindestwasserstandes (um die Exposition der Arbeiter gegenüber ionisierender Strahlung zu begrenzen) und der Wasserchemie (insbesondere zur Verhinderung der Korrosion von Brennelementen und als Beitrag zur Aufrechterhaltung der Unterkritikalität) sowie der Wartung der Kühlsysteme (um eine angemessene Abfuhr der Restwärme zu gewährleisten).

7.2 Erwartete Entwicklung bei Nichtdurchführung des Plans

Der aktive Umgang mit radioaktiven Abfällen über sehr lange Zeiträume ist von Natur aus schwierig, da der Schutz von Mensch und Umwelt von der Aufrechterhaltung aktiver Verwahrungsmaßnahmen abhängt: Es ist unmöglich abzuschätzen, ob und wie lange diese Maßnahmen und das günstige Umfeld noch bestehen werden. Werden sie geschwächt, werden die Langzeitfolgen gravierend sein, da die Abfälle letztlich nicht mehr von Mensch und Umwelt isoliert sein werden.

Wenn der Plan nicht durchgeführt wird (siehe Kapitel 11 für die Hauptgründe – abgesehen von den umweltbezogenen Gründen – einer unverzüglichen Verabschiedung der nationalen Politik) und konditionierte hochradioaktive und/oder langlebige Abfälle daher in der Zwischenlagerung verbleiben müssen, muss die NERAS von Fall zu Fall kurzfristige Lösungen für die Probleme finden, die zwangsläufig auftreten werden. Electrabel wird bei der Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente bis zur Übergabe der Verantwortung an die NERAS mit ähnlichen Problemen konfrontiert sein.

Es werden nach und nach verschiedene Arten von Umweltauswirkungen auftreten:

- Bestehende Gebäude für die Zwischenlagerung müssen renoviert oder ersetzt werden, wenn sie das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben, und veraltete Gebäude müssen stillgelegt werden; beide Arten von Operationen werden Umweltauswirkungen haben, einschließlich einer wahrscheinlichen Zunahme der Gesamtmenge der zu behandelnden radioaktiven Abfälle;
- Die konditionierten Abfallgebäude sind nicht dafür vorgesehen, für mehr als ein Jahrhundert zwischengelagert zu bleiben und müssen möglicherweise nachkonditioniert werden, wenn der Einschluss radioaktiver Stoffe nicht mehr vollständig gewährleistet ist; diese Vorgänge werden unweigerlich die Gesamtmenge der zu behandelnden radioaktiven Abfälle erhöhen; bei den zwischengelagerten abgebrannten Brennelementen können die Hüllrohre ebenfalls beschädigt werden; somit sind eventuell Massnahmen notwendig, um die Sicherheit zu gewährleisten;
- Durch den Umgang mit zwischengelagerten Abfallgebäuden oder Behältern für abgebrannte Brennelemente, sei es bei der Gebäudesanierung oder bei der Verbringung in neue Zwischenlagergebäude, entstehen Risiken für die Betriebssicherheit.

Der reaktive Umgang mit den Abfällen, die bei Nichtdurchführung des Plans in Kraft tritt, wird weiterhin gemäß den Bestimmungen des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens für Sicherheit und Umweltschutz durchgeführt, es ist jedoch unmöglich vorherzusagen, wie lange die Sicherheit gewährleistet werden kann, da die kontextuellen Unsicherheiten zunehmen werden (Gefahr der Verschlechterung der regulatorischen Aufsicht, der Auflösung der Betreibergesellschaft, des Wissensabbaus, von Finanzierungsengpässen, von Kriegen usw.):

Die Situation der sicheren oberflächennahen Zwischenlagerung wird sich aufgrund dieses verschlechterten Kontextes irgendwann in eine unsichere Situation verwandeln, und es ist daher unmöglich, die Aufrechterhaltung der Sicherheit ohne zeitliche Begrenzung aufzuzeigen.

Geht der aktive Umgang mit den Abfällen langfristig verloren, werden sich schwerwiegende Umweltprobleme ergeben. Wenn die Zwischenlagergebäude verlassen werden, fangen sie, ebenso wie die sich darin befindlichen Inhalte (Abfälle, Materialien usw) an zu verfallen. Die radioaktiven Stoffe, die nach und nach von den Abfällen und den abgebrannten Brennelementen freigegeben werden, werden die Umwelt in schwerwiegender Weise kontaminieren.

8 Verwendete Methode

Angesichts des neuartigen, konzeptuellen und allgemeinen Charakters des Plans entschied sich die NERAS, die SUP selbst zu erstellen (Abschnitt 8.2). Dazu hat sie sich auf eine grundlegende Methodenauswahl gestützt (Abschnitt 8.1), mit der die Schwierigkeiten bei der Prüfung der Umweltauswirkungen eines weitgehend abstrakten Vorschlags (Abschnitt 8.3) so weit wie möglich vermieden werden sollen.

8.1 Methodischer Ansatz

Um eine vorläufige Prüfung der Umweltauswirkungen des Plans zu ermöglichen, auch wenn der Prüfungsbereich besonders breit oder nicht sehr spezifisch ist, hat die NERAS mit Folgendem gearbeitet

- typische technische Konzepte (Abschnitt 8.1.1);
- zwei unterschiedliche Zeiträume (Abschnitt 8.1.2);
- einem Referenzinventar radioaktiver Abfälle, wobei einige der Folgen einer möglichen Veränderung dieses Inventars berücksichtigt werden (Abschnitt 8.1.3).

In der SUP wird auch die Robustheit der geologischen Endlagerung in Stollen und in tiefen Bohrlöchern diskutiert, d. h. inwieweit diese Optionen den Schutz von Mensch und Umwelt trotz der zeitlichen Veränderungen, denen sie unterliegen werden, gewährleisten können (Abschnitt 8.1.4).

8.1.1 Entsorgungsoptionen und typische Konzepte

Trotz der Fülle an Wissen und Expertise, die die NERAS in 40 Jahren Forschung, Entwicklung und Demonstration zur geologischen Endlagerung erworben hat, und trotz der beachtlichen Erfolge auf internationaler Ebene kann die geologische Endlagerung in Stollen und die geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern nur durch Standardkonzepte in der SUP dargestellt werden. Die NERAS kennt aktuell weder den Standort (einschließlich des geologischen Umfelds), an dem der Plan umgesetzt werden soll, noch das Lagerkonzept, das umgesetzt werden soll, noch a fortiori dessen Ausführungsmodalitäten. Diese Standardkonzepte umfassen einen Überblick über die Hauptphasen der Tätigkeiten (Vorbereitung des Standorts, Bau, Betrieb, vollständiger Verschluss, Wiederherstellung des Standorts in einen weniger oder nicht bebauten Zustand) mit einem allgemeinen indikativen Zeitplan und einer allgemeinen Beschreibung der wichtigsten voraussichtlichen Aktivitäten sowie ein Verzeichnis der wichtigsten erforderlichen Anlagen und eine zusammenfassende Beschreibung der Endlager und ihrer Zugänge.

8.1.2 Zeitraum vor und nach dem Verschluss

Da sich die Art und Bedeutung der Umweltauswirkungen sowohl bei der geologischen Endlagerung in Stollen als auch bei der geologischen Endlagerung in tiefen Bohrlöchern im Laufe der Zeit ändern wird und sie grundsätzliche Unterschiede zeigen, je nachdem, ob menschliche Aktivitäten vorhanden sind oder nicht, unterscheidet die SUP zwischen Auswirkungen vor und nach dem Verschluss und prüft diese getrennt (Abschnitt 6.1.2):

- *für den Zeitraum vor dem Verschluss* wird die Umweltverträglichkeitsprüfung auf der Grundlage von Standardkonzepten bis zur vollständigen Schließung der Untertageanlage durchgeführt; die NERAS identifiziert und beschreibt die möglichen Hauptauswirkungen der wichtigsten Typen von Tätigkeiten;

- für den Zeitraum nach dem Verschluss basiert die Umweltverträglichkeitsprüfung auf dem Wissen über die natürliche Entwicklung langfristiger Endlagerungssysteme nach dem vollständigen Verschluss.

8.1.3 Inventare radioaktiver Abfälle

Die Umweltverträglichkeitsprüfungen des Plans basieren auf dem Referenzinventar (Abschnitt 2.4.2). Der Einfluss des möglichen zusätzlichen Inventars (Abschnitt 2.4.3) auf die Umweltauswirkungen sind Gegenstand allgemeiner qualitativer Überlegungen (Abschnitt 9.4). Diese Überlegungen werden mit einer Prüfung der Fähigkeit der beiden geologischen Endlageroptionen, einer Veränderung des Referenzinventars zuzulassen, d. h. mit einer Prüfung ihrer *Flexibilität* (Kapitel 11).

8.1.4 Unsicherheiten und Robustheit nach dem Verschluss

Der extrem lange Zeithorizont für die langfristig sichere Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle wirft Fragen nach der Zuverlässigkeit der Umweltverträglichkeitsprüfung für die Zeit nach dem Verschluss auf. Die geologische Endlagerung in Stollen und die geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern werden Entwicklungen unterworfen sein, insbesondere externen Entwicklungen, die nicht mit dem gewünschten Detaillierungsgrad vorgesehen werden können.

Zusätzlich zu den Umweltauswirkungen für die Zeiträume vor und nach dem Verschluss untersucht die SUP daher mit Hilfe des Konzepts der Robustheit auch das Vertrauen, das in das Ergebnis der Umweltverträglichkeitsprüfung für die Zeit nach dem Verschluss, gesetzt werden kann. Die Robustheit der Entsorgungsoptionen widerspiegelt das Ausmaß, in dem ihre Fähigkeit, Mensch und Umwelt – insbesondere in radiologischer und chemotoxischer Hinsicht – Schutz zu bieten, unempfindlich gegenüber zeitlichen Veränderungen ist.

Robustheit ist ein wesentliches Merkmal jeder Entsorgungsoption. Sie wird aus vier Blickwinkeln geprüft:

- Robustheit gegenüber natürlichen Veränderungen, insbesondere klimatischen Veränderungen;
- Robustheit gegenüber den Veränderungen des Systems, die von den erwarteten Entwicklungen abweichen;
- Robustheit gegenüber äußeren Ereignissen nicht natürlichen Ursprungs;
- Robustheit gegenüber gesellschaftlichen Veränderungen.

8.2 Konsultierte Experten

In Anbetracht des konzeptuellen und allgemeinen Charakters des Plans und der Tatsache, dass er eine in Belgien noch nie dagewesene Art von Aktivitäten betrifft, für die die Akteure, die normalerweise einen Mehrwert bei der Umweltverträglichkeitsprüfung von Plänen oder Programmen bedeuten können, keine Erfahrung haben, hat die NERAS beschlossen, die SUP selbst zu erstellen (Gesetz vom 13. Februar 2006, Artikel 9).

8.3 Aufgetretene Schwierigkeiten und Einschränkungen

Die Schwierigkeiten bei der Erstellung der SUP resultieren aus der Tatsache, dass der Plan so konzeptionell und allgemein gehalten ist, dass keines seiner konkreten Elemente bekannt ist: Die geologische Endlagerungslösung kann an einer Vielzahl von Standorten und auf vielfältige

Art und Weise umgesetzt werden. Diese Übung muss dennoch Teil eines jeden nationalen politischen Vorschlags sein, wie allgemein er auch sein mag.

Die NERAS hat sich daher bemüht, die für den Plan relevanten beschreibenden Prüfungen so genau wie möglich im Geiste des Gesetzes durchzuführen. Diese SUP ist der Ausgangspunkt für die Umweltverträglichkeitsprüfungen, die in den letzten Verabschiedungsphasen und der späteren Umsetzung der nationalen Politik durchgeführt werden sollen.

9 Umweltverträglichkeitsprüfung der geologischen Tiefenlagerung in Stollen

Angesichts des abstrakten Charakters des Plans erfolgt die Umweltverträglichkeitsprüfung (Abschnitt 9.3) für die geologische Tiefenlagerung in Stollen unter Verwendung von Standardkonzepten (Abschnitt 9.1), auf deren Grundlage bestimmte Annahmen, einige Parameterwerte und die Hauptaktivitäten, die während der verschiedenen Implementierungsphasen zu berücksichtigen sind, festgelegt werden (Abschnitt 9.2). Ergänzt wird diese Bewertung durch Überlegungen zu den Umweltauswirkungen einer Erhöhung des Referenzinventars (Abschnitt 9.4), zu den Überwachungsmaßnahmen (auch „Monitoring“ genannt – Abschnitt 9.5) und zu den Umweltauswirkungen einer gemeinsamen multinationalen geologischen Tiefenlagerung in Stollen (Abschnitt 9.6).

Die Umweltverträglichkeitsprüfung der geologischen Tiefenlagerung in Stollen berücksichtigt die Lagerung von Abfällen der Kategorien B und C in einer einzigen Anlage, im Gegensatz zu ihrer Lagerung in getrennten Anlagen. Die Auswirkungen der Lagerung in getrennten Anlagen wären aufgrund der Verdoppelung der Oberflächenanlagen und des Zugangs zu den Lagerbereichen der Untertageanlage größer als die der Lagerung in einer einzigen Anlage.

9.1 Standardkonzepte

Die geologische Tiefenlagerung in Stollen wird durch vier Standardkonzepte dargestellt. Da geologische Tiefenlagersysteme immer nach einem systemischen Ansatz entwickelt werden, der von den Eigenschaften des Wirtgesteins und der einzuschließenden und zu isolierenden Abfälle abhängt (siehe Einleitung zu Kapitel 3), ist es nicht möglich ein Standardkonzept zu entwickeln, das für die geologische Tiefenlagerung in allen Typen potenzieller Wirtgesteine gelten würde. Diese Standardkonzepte sollen nicht als „besser“ oder „weniger gut“ in dieser oder jener Hinsicht miteinander verglichen werden, da sie sich aus systemischen Ansätzen ergeben.

Die vier Standardkonzepte, auf denen die NERAS die Umweltverträglichkeitsprüfung der geologischen Tiefenlagerung in Stollen abstützt, sind drei Standardkonzepte aus einer kürzlich durchgeführten britischen generischen Studie und einem belgischen Standardkonzept. Diesen Konzepten ist gemeinsam, dass sie mit einem strategischen Ziel entwickelt wurden und die Lagerung von Abfällen der Kategorie B *und* der Kategorie C betreffen.

- Die britischen generischen Standardkonzepte wurden kürzlich von *Radioactive Waste Management* (RWM), der für die geologische Tiefenlagerung von Abfällen der Kategorien B und C zuständigen britischen Behörde entwickelt, um die Auswahl eines Standorts in einem noch zu bestimmenden Wirtgestein vorzubereiten [RWM 2016a, 2016b]. Diese drei Konzepte – eines für jeden der drei Haupttypen von Wirtgesteinen (Evaporit, kristallines Gestein oder Tonformation) – basieren auf Annahmen, die weltweit entwickelten Konzepten für die Lagerung von Abfällen der Kategorien B und/oder C in diesen Wirtgesteinen zu Grunde liegen und die ausführlich dokumentiert sind. Das generische Standardkonzept für Tonformationen basiert somit auf den von der Schweiz und in geringerem Maße von Frankreich und Belgien entwickelten Konzepten für die geologische Tiefenlagerung in Stollen in Tonformationen. Die britischen Standardkonzepte sind für das britische Referenzinventar dimensioniert.
- Das belgische Standardkonzept ist das Konzept, auf dem das am Referenzdatum des SUP, d. h. am 31. Dezember 2018 [NERAS 2018b], geltende finanzielle Referenzszenario basiert. Ziel ist es, die Kosten einer Lösung für die geologische Tiefenlagerung in Stollen in Belgien realistisch berechnen zu können. Es ist spezifisch für eine schwach verfestigte Tonformation und für das belgische Referenzinventar der Abfälle der Kategorien B und C (Abschnitt 2.4.2). Es basiert auf dem Wissen, das in Belgien in mehr als 40 Jahren

Forschung, Entwicklung und Demonstration in Bezug auf diesen Wirtgesteinstyp erworben wurde.

Die Analyse der britischen Standardkonzepte zeigt große Unterschiede bei gleichem Abfallinventar aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Wirtgesteine. Auf die Größe des belgischen Referenzinventars bezogen ermöglichen die Werte der dimensionierungsrelevanten Parameter, die entsprechenden Werte für das belgische Standardkonzept zu skalieren (Abschnitt 9.2.1).

Die Standardkonzepte der geologischen Tiefenlagerung in Stollen (Abbildung 13) beinhalten eine Bestandsaufnahme der Oberflächenanlagen (Abschnitt 9.1.1), eine kurze Beschreibung der Untertageanlage und ihrer Zugänge (Abschnitt 9.1.2) sowie einige Überlegungen zur zeitlichen Einordnung der Aktivitäten und des Verschlusses der Anlage und ihrer Zugänge (Abschnitt 9.1.3).

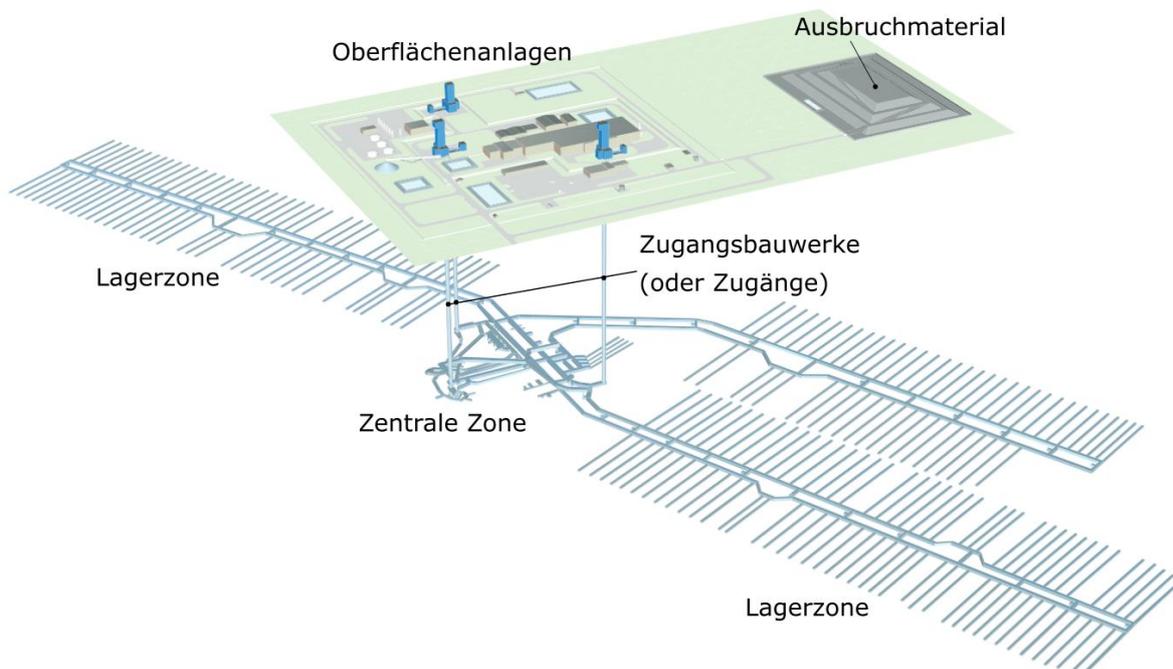


Abbildung 13 – Darstellung einer möglichen Konfiguration eines geologischen Tiefenlagers in Stollen, entwickelt durch SGDN [SGDN 2019].

9.1.1 Oberflächenanlagen

Die Oberflächenanlagen eines geologischen Tiefenlagers in Stollen sollen nicht dauerhaft sein: Sie werden am Ende der Vorverschlussphase ganz oder teilweise rückgebaut. Sie ähneln teilweise den Einrichtungen, die sich auf einem konventionellen Industriestandort befinden, und einige sind vergleichbar mit existierenden Einrichtungen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, wie sie beispielsweise auf den von Belgoprocess betriebenen NERAS-Standorten in Mol und Dessel anzutreffen sind. Die einzige neuartige Oberflächenanlage ist die (im belgischen Standardkonzept vorhandene) Nachkonditionierungsanlage, deren Betrieb jedoch auf Techniken und Verfahren beruht, die regelmäßig in Konditionierungs- und Lagerungsanlagen wie in Mol und Dessel verwendet werden.

Die Oberflächenanlagen lassen sich in drei Zonen einteilen: öffentliche, nichtnukleare und nukleare (Abbildung 14).

Öffentlicher Bereich Der öffentliche Bereich umfasst z. B. ein Besucherzentrum, Parkplätze und ein Kommunikationszentrum, das auch einen permanenten Ausstellungsbereich mit Computersimulationen der Betriebsabläufe im Endlagersystem umfassen könnte.

Nichtnukleare Zone Die eingezäunte nichtnukleare Zone, die als konventionelle Industriezone mit Zugangskontrolle konzipiert ist, umfasst die nichtnuklearen Anlagen, die für das Tiefenlagerprojekt bis zum vollständigen Verschluss der Untertageanlage und ihrer Zugänge erforderlich sind. Sie umfasst

- für das Tiefenlagerprojekt *spezifische* Anlagen, zum Beispiel:
 - ▶ eine oder mehrere *Lagerzonen für das Ausbruchmaterial*. Bei gleichbleibendem Inventar an einzulagernden Abfällen hängt das Volumen dieser Materialien insbesondere vom Typ des Wirtgesteins und vom Lagerkonzept ab.

Je nach Wirtgestein und Konzept kann das Ausbruchmaterial zumindest teilweise als Verfüllmaterial für die Untertageanlage verwendet werden oder es kann bzw. muss sogar vom Standort entfernt werden. So kann das kristalline und tonige Ausbruchmaterial in Form von permanenten Böschungen vor Ort belassen, für die Verfüllung (von Teilen) der Untertageanlage verwendet oder vom Standort entfernt werden, um wiederverwertet zu werden. Ausgebrochenes Evaporitmaterial muss hingegen für die Verfüllung (von Teilen) der Untertageanlage verwendet oder außerhalb des Standorts wiederverwertet werden, da dieses Gestein löslich ist.
 - ▶ eine *Sickerwasseraufbereitungsanlage* für das gelagerte Ausbruchmaterial;
 - ▶ eine *Wasseraufbereitungsanlage*, insbesondere für Wasser, das gegebenenfalls in die Untertageanlage eindringt und an die Oberfläche gepumpt werden muss;und wenn entschieden wird, sie vor Ort herzustellen,
 - ▶ eine *Produktionsanlage für die Baumaterialien* der Oberflächenanlage und der Untertageanlage und deren Zugänge, die in allen Standardkonzepten große Mengen Beton erfordern;
 - ▶ eine oder mehrere *Fabriken, die bestimmte Komponenten herstellen, die für die Nachkonditionierung der Abfälle* erforderlich sind;
 - ▶ eine *Fabrik zur Herstellung des Verfüllmaterials* für die Untertageanlage und ihre Zugänge. Diese Materialien und die erforderlichen Mengen hängen vom Endlagersystem ab, da verschiedene Materialien im selben System verwendet werden können.
- Installationen, die *nicht spezifisch* für das Lagerprojekt sind, wie Verwaltungsgebäude, Empfangsbereiche für gelieferte Materialien (Rohstoffe, Baumaterialien, vorgefertigte Teile usw.), Installationen und Gebäude für Baustellenarbeiten und Wartung (Werkstätten, elektrische Ausrüstung, Feuerwache usw.), Wäscherei oder Labor.

Nukleare Zone Die nukleare Zone, die besonderen Anforderungen an die Zugangskontrolle unterliegt, umfasst die Einrichtungen, durch die radioaktive Abfälle von ihrer Ankunft am Standort bis zum Beginn der Einlagerung in die Untertageanlage gelangen. Hierbei handelt es sich, wie Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, um Kernanlagen der Klasse I im Sinne der allgemeinen Vorschriften zum Schutz gegen ionisierende Strahlung [Belgien 2001].

Die nukleare Zone umfasst gegebenenfalls:

- ein Gebäude mit einem Empfangsbereich für Abfälle, die von ihrem Zwischenlagerstandort ankommen, möglicherweise eine Nachkonditionierungsanlage für diese Abfälle in speziell für ihre Lagerung entwickelten Behältern und Lagerpufferzonen für Abfallgebäude vor ihrem Transport in die Untertageanlage;
- Gebäude, die über Zugangsschächte und gegebenenfalls über eine Zugangsrampe Zugang zur Untertageanlage gewähren;
- Belüftungsanlagen.

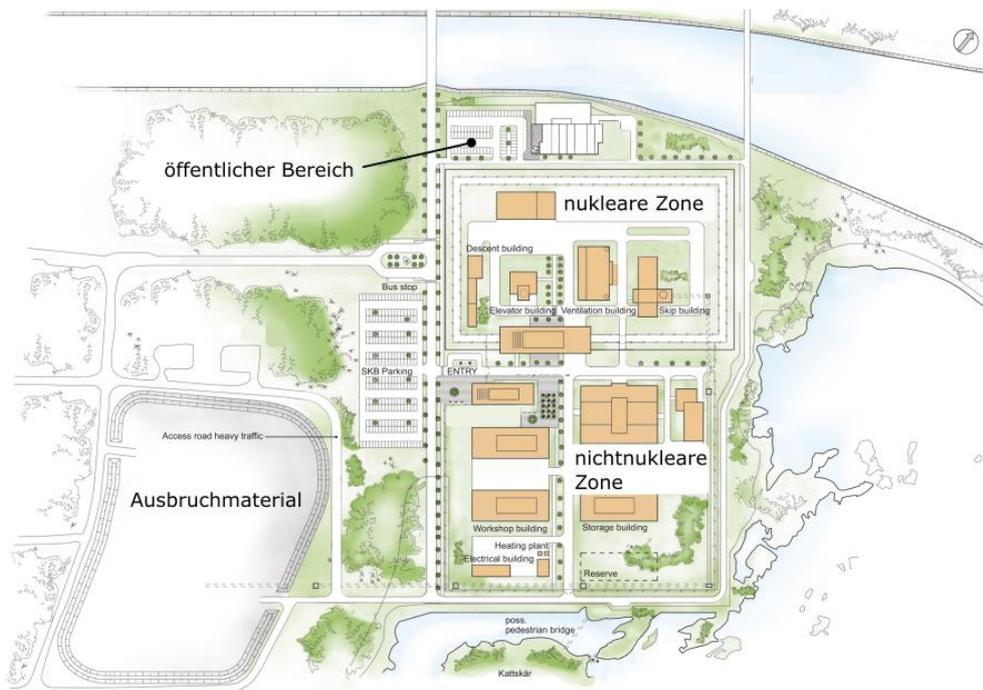


Abbildung 14 – Schematische Darstellung einer möglichen Anordnung der Oberflächenanlagen des schwedischen Konzepts der geologischen Tiefenlagerung von abgebrannten Brennelementen in Stollen [SKB 2011].

9.1.2 Untertageanlagen

Zu den Untertageanlagen gehören das Endlager selbst und seine Zugänge. Das Ganze ist eine Kernanlage der Klasse I.

Die Tabelle 8 weist bestimmte Merkmale der für die Umweltverträglichkeitsprüfung verwendeten Standardkonzepte auf und zeigt deren Unterschiede, hauptsächlich aufgrund der Unterschiede zwischen den Wirtgesteinstypen und den belgischen und britischen Inventaren. Das belgische Inventar umfasst in der Tat etwa fünfzig Mal weniger Abfälle der Kategorie B und fünfmal weniger Abfälle der Kategorie C als das britische Inventar¹³.

Zugangsbauwerke Die Zugangsbauwerke verbinden die Oberflächenanlagen mit der Untertageanlage und müssen den Transport von Ausrüstung und Material (einschließlich der Beförderung von Ausbruchmaterial an die Oberfläche), den Personentransport, die Beförderung von Abfallgebinden (oder ggf. ihre Wiederbeförderung an die Oberfläche) und die Belüftung der Untertageanlage ermöglichen. Es gibt zwei Arten: vertikale Schächte und geneigte Rampen. Die Länge der Schächte und der Rampen hängt von der Tiefe der Anlage bzw. von der Neigung der Rampen ab. Sie werden mit herkömmlichen Ausbruchstechniken erstellt und mit Techniken stabilisiert, die sich je nach Art des Zugangs, der Durchmesser und der durchquerten geologischen Formationen unterscheiden.

¹³ Das Vereinigte Königreich besitzt 42 betriebene oder endgültig abgestellte kommerzielle Kernreaktoren, sechsmal mehr als Belgien, und muss eine sehr große Menge an nuklearen Altlasten entsorgen, die im Rahmen der Entwicklung wegweisender früher nuklearer Aktivitäten in den 1940er-Jahren entstanden sind (63% der Abfälle der Kategorie B) sowie die Abfälle aus militärischen Aktivitäten und Uranaufbereitungs- und -anreicherungsanlagen.

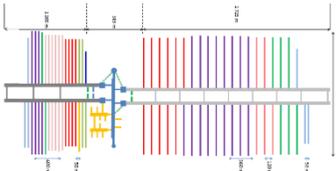
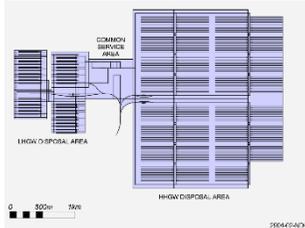
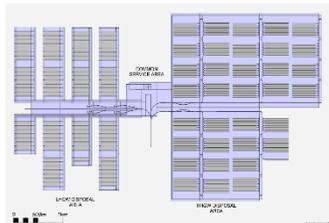
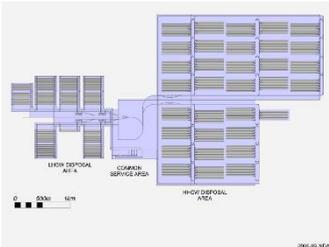
Untertageanlage Die Untertageanlage ist der Ort, wo die radioaktiven Abfälle eingelagert werden. Es handelt sich um eine spezifische und neuartige Industriestruktur mit einer dauerhaften Funktion, deren Bau eine technische Herausforderung darstellt, das vielen Einschränkungen unterliegt. Daher müssen bei Tonformationen die Ausbruchstechniken für die Lagerstollen die Störungen des Wirtgesteins minimieren, damit die ordnungsgemäße Funktion des Endlagersystems nicht beeinträchtigt wird, und für ein kristallines Gestein sind möglichst detaillierte Vorkenntnisse über die Klüftung des Gesteins erforderlich, um den Ort der Lagerstollen zu optimieren.

Die Untertageanlage weist insbesondere folgende Eigenschaften auf:

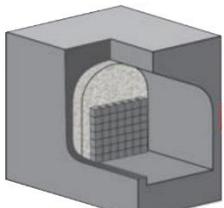
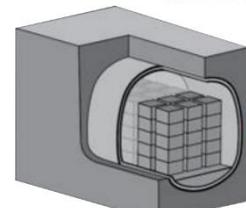
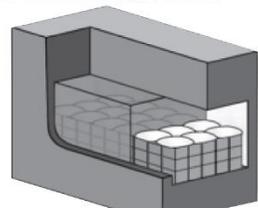
- Sie ist in einer horizontalen Ebene auf einem einzigen Niveau gebaut.
- Die Wände der Lagerkammern werden durch Techniken und in einem Ausmaß stabilisiert, die vom Wirtgestein abhängig sind: Bei gewissen Tongesteinen müssen die Wände mit Betonblöcken verkleidet werden, um die spontane Konvergenz zu begrenzen. Bei anderen Wirtgesteinen ist eine Stabilisierung nicht überall erforderlich, und wo dies erforderlich ist, wird sie durch Felsanker und ein geschweißtes Stahlnetz mit oder ohne Spritzbeton sichergestellt. Die für die Wände gewählte Verkleidung und die Abdichtung möglicher Risse ermöglichen es auch, das Eindringen von Wasser in die Anlage zu begrenzen, was bei kristallinen Gesteinen in bedeutendem Maße der Fall sein kann.
- Die Abfälle werden nach ihren Hauptmerkmalen (radiologisch, thermisch usw.) in Zonen aufgeteilt. Die Anlage umfasst daher zwei getrennte Lagerbereiche, einen für Abfälle der Kategorie B (Bereich B) und einen für Abfälle der Kategorie C (Bereich C), die aus jeweils parallel zueinander laufenden Lagerstollen bestehen. Die beiden Zonen sind mehrere hundert Meter voneinander entfernt, um potenziell schädliche Wechselwirkungen (thermisch, hydraulisch, mechanisch, chemisch oder gasförmig) zu vermeiden, die das System nach dem Verschluss beeinträchtigen könnten.
- Eine zentrale Zone trennt die beiden Lagerzonen. Diese Zone umfasst Zugangsstollen und die erforderlichen technischen Anlagen im Untergrund, beispielsweise eine Zelle, mit der die Abfallgebände aus ihrem gepanzerten Transportbehälter entnommen werden können, bevor sie ferngesteuert in ihren Lagerstollen transportiert werden. Diese zentrale Zone kann auch eine Pilotzone umfassen, die für Tests vorgesehen ist, beispielsweise Tests zur Bestätigung der Eigenschaften des gewählten Wirtgesteins oder zum Nachweis der Installation und der Rückholung Dummy-Abfallgebände und/oder echter Abfallgebände. Sie kann auch verwendet werden, um das Design der Installation und des Betriebs zu optimieren, beispielsweise durch Testen neuartiger Handhabungstechniken für Abfallgebände, Stollenverschlusstechniken und Überwachungstechniken.
- Die Abfallgebände können je nach Endlagersystem über einen Schacht oder eine Rampe nach Untertage verbracht werden.
- Die Abfallgebände mit Abfällen der Kategorie B können in großen Stollen übereinander und hintereinander gestapelt werden (wenn der Typ des Wirtgesteins dies zulässt) oder in zylindrischen Stollen mit kleinerem Durchmesser hintereinander angeordnet werden.

Die Lagerzone für Wärme abgebende Abfälle der Kategorie C dient dazu, die abgegebene Wärme abzuleiten und den Temperaturanstieg von technischen und natürlichen Barrieren auf Werte zu begrenzen, die die Einschluß- und Isolierungsfähigkeit des Endlagersystems nicht beeinträchtigen und den Temperaturanstieg in Grundwasserleitern auf regulatorische Werte begrenzen. Diese Bedingung kann unter anderem dadurch erfüllt werden, dass die Dauer der Zwischenlagerung und damit die Dauer der Kühlung an der Oberfläche, der Abstand zwischen Abfallgebänden in demselben Lagerstollen und der Abstand zwischen Lagerstollen angepasst werden.

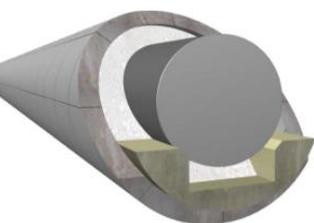
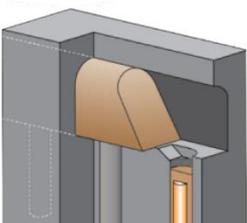
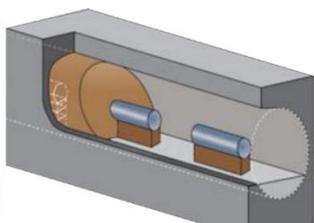
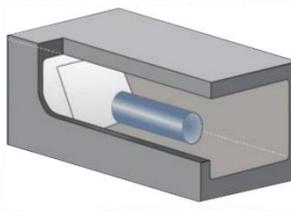
Tabelle 8 – Hauptmerkmale der vier Standardkonzepte der geologischen Tiefenlagerung in Stollen, auf denen die Umweltverträglichkeitsprüfung basiert, für die jeweiligen Abfallinventare. Das belgische Standardkonzept, das zur Schätzung der Kosten der geologischen Tiefenlagerung erstellt wurde, und das entsprechende Abfallinventar der Kategorien B und C entsprechen dem SUP-Stichtag 31. Dezember 2018. Die Daten stellen kein Präjudiz dar für die Merkmale einer zukünftigen geologischen Tiefenlagerung im Stollensystem für diesen Abfall.

	Belgisches Standardkonzept <i>Schwach verfestigter Ton</i>	„Widerstandsfähigere“ <i>Formation</i> Konzept basierend auf britischen und schwedischen Konzepten (kristallines Gestein)	„Weniger widerstandsfähige“ <i>Formation</i> Konzept basierend auf schweizerischen, französischen und belgischen Konzepten (Tonformation)	<i>Evaporit</i> Konzept basierend auf amerikanischen und deutschen Konzepten
Referenzinventar				
Abfall der Kategorie B	10.900 m ³	524.100 m ³	524.100 m ³	524.100 m ³
Abfall der Kategorie C	≈ 2.600 m ³ (250 + 2.350)	12.163 m ³	12.163 m ³	12.163 m ³
Grundfläche				
Standortfläche	≈ 1 km ²	≈ 1 km ²	≈ 1 km ²	≈ 1 km ²
Mit Ausbruchmaterial belegte Fläche	≈ 0,3 km ²	nicht verfügbar	nicht verfügbar	nicht verfügbar
Zugangsbauwerke				
Anzahl und Art	2 Schächte	1 Rampe und 3 Schächte	1 Rampe und 3 Schächte	4 Schächte
Transport der Abfallgebinde	über Schacht	über Rampe	über Rampe	über Schacht
Untertageanlage				
In einer horizontalen Ebene auf einem einzigen Niveau gebaut.				
Tiefe und Konfiguration	400 m	650 m	500 m	650 m
Links: Zone B Mitte: zentrale Zone Rechts: Zone C				
<i>Skizzen in verschiedenen Maßstäben, zentrale Zonen nicht maßstabsgetreu</i>				
Gesamte unterirdische Fläche	≈ 3,9 km ²	≈ 7,6 km ²	≈ 15,3 km ²	≈ 10,3 km ²
Zone B	≈ 1 km ²	≈ 0,5 km ²	≈ 2,5 km ²	≈ 0,8 km ²
Zone C	≈ 2,5 km ²	≈ 3,4 km ²	≈ 4,2 km ²	≈ 3,4 km ²
Zentrale Zone	≈ 0,4 km ²	≈ 3,7 km ²	≈ 8,6 km ²	≈ 6,1 km ²
Abstand zwischen Zone B und C	385 m	500 m	500 m	500 m
Verkleidung	Betonblöcke und Spritzbeton (Dicke ca. 3 m für Zugangsstollen und ca. 1 m für Lagerstollen)	Felsanker (2,5 m lang, alle 2,5 m) und geschweißtes Netz mit Spritzbeton (Dicke: 20 cm in Lagerstollen und 5 cm anderswo)	Felsanker (1,5 bis 3 m lang, alle 1,5 bis 2 m) und geschweißtes Netz mit Spritzbeton (Dicke: 30 cm) (mögliche Verwendung von Betonblöcken für Abschnitte)	Felsanker (3 m lang alle 1,5 m) und geschweißtes Netz

Lagerungsstollen für Abfälle der Kategorie B (Stollen B): Eigenschaften und Lagerkonfigurationen

Schnitt	kreisförmig	hufeisenförmig	oval	rechteckig
				
Einlagerung der Abfallgebinde	hintereinander	aufeinander/hintereinander	aufeinander/hintereinander	aufeinander/hintereinander
Maße	3,5 m Nutzdurchmesser	≈ 16 m × 16 m	≈ 10 m × 11 m	≈ 10 m × 5 m
Länge	verschiedene Längen, max. 400 m	≈ 300 m	≈ 300 m	≈ 300 m
Anzahl	37	38	114	93
Verfüllmaterial	Zementhaltiges Material	Zementhaltiges Material	Zementhaltiges Material	(keine Verfüllung)

Lagerungsstollen für Abfälle der Kategorie C (Stollen C): Eigenschaften und Lagerkonfigurationen

Schnitt	kreisförmig	hufeisenförmig	kreisförmig	quadratisch
				
Einlagerung der Abfallgebinde	hintereinander	in einzelnen vertikalen, an der Basis des Stollens ausgebrochenen Schächten	hintereinander	hintereinander
Maße	3 m Nutzdurchmesser	5,5 m × 5,5 m	2,5 m Durchmesser	3 m × 3 m
Länge	verschiedene Längen, max. 400 m	500 m	500 m	500 m
Anzahl	42	310	341	327
Verfüllmaterial	Zementhaltiges Material	Bentonit ¹	Bentonit	zerkleinertes Ausbruchmaterial ²

Materialien für den vollständigen Verschluss

Versiegelungen	Beton und Bentonit	Beton und Bentonit	Beton und Bentonit	Beton und andere Materialien
Verfüllung der zentralen Zone	Zementhaltiges Material	zerkleinertes Ausbruchmaterial	Bentonit und Sand oder zerkleinertes Ausbruchmaterial	zerkleinertes Ausbruchmaterial
Verfüllung der Zugänge	Zementhaltiges Material und Kies	zerkleinertes Ausbruchmaterial	zerkleinertes Ausbruchmaterial	zerkleinertes Ausbruchmaterial

¹ Art von Ton;

² Das zerleinerte Ausbruchmaterial stammt vom Ausbruch der Untertageanlage im Wirtgestein und nicht vom Ausbruch der Zugänge.

9.1.3 Phasen der Implementierung und des Verschlusses

Ein geologisches Tiefenlagerprojekt wird in mehreren Phasen über viele Jahrzehnte durchgeführt. Man unterscheidet üblicherweise von der Erteilung der nuklearen Bewilligung für die Errichtung und den Betrieb an eine kurze Phase der Standortvorbereitung, die Phasen des Baus, des Betriebs und des vollständigen Verschlusses bis hin zu einer Phase der Rückführung des Standorts in einen weniger oder nicht bebauten Zustand. Diese Phasen gehören zur Vorverschlussphase, die Gegenstand einer kontinuierlichen Überwachung ist. (Abschnitt 9.5). In der Nachverschlussphase findet die natürliche Entwicklung des Endlagersystems statt; sie wird zu Beginn grundsätzlich ebenfalls überwacht (siehe auch Abbildung 4 im Abschnitt 2.3).

Phase der Standortvorbereitung Die Phase der Standortvorbereitung umfasst Aktivitäten vor Beginn der Hauptbautätigkeiten wie Erdarbeiten und Erschliessung.

Bauphase Die Bauphase umfasst den Bau der Oberflächenanlagen und der Untertageanlage mit ihren Zugängen.

Betriebsphase Die Betriebsphase umfasst den Betrieb der Oberflächenanlagen und die Einlagerung der Abfallgebinden in der Untertageanlage sowie den Verschluss der Lagerzonen. Dieser Verschluss besteht aus der Verfüllung der Lager- und Zugangstollen und dem Einbringen wasserundurchlässiger Zwischenversiegelungen, um den bevorzugten Transport von Radionukliden und chemischen Verunreinigungen entlang der Zugangsbauwerke langfristig zu verhindern.

Phase des vollständigen Verschlusses Sobald der gesamte Abfall in die Untertageanlage verbracht wurde, können die Anlage und ihre Zugänge vollständig verschlossen werden, d. h. verfüllt und versiegelt werden, entweder sofort oder nach einer Überwachungsphase, in einem oder mehreren Schritten, jedoch ohne dass die verzögerte Schließung die Sicherheit und Sicherung gefährden könnte. Der vollständige Verschluss zielt darauf:

- menschliches Eindringen zu verhindern;
- das Endlagersystem in seinen Endzustand zu bringen, damit der passive Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet wird.

Phase der Rückführung des Standorts in einen weniger oder nicht bebauten Zustand Die Phase vor dem Verschluss endet mit dem teilweisen oder vollständigen Rückbau der Oberflächenanlagen, um den Standort in einen weniger oder nicht bebauten Zustand zurückzusetzen.

Periode nach dem Verschluss Die Periode nach dem Verschluss erfordert keine menschlichen Aktivitäten mehr, um die Sicherheit zu gewährleisten. Die vollständig verschlossene Anlage unterliegt jedoch zu Beginn grundsätzlich einer Überwachung, die die Gesamtsicherheit des Systems nicht beeinträchtigen darf. Massnahmen zur Überlieferung von Informationen zum Tiefenlager an künftige Generationen werden ergriffen.

Das belgische Standardkonzept entkoppelt zeitlich die mit Abfällen der Kategorie B verbundenen Tätigkeiten von den mit Abfällen der Kategorie C verbundenen Tätigkeiten und sieht ferner vor, dass die Bau- und Betriebsphasen von je zwanzig Jahren lang zeitlich getrennt aufeinander folgen (Abbildung 15). Die britischen Standardkonzepte sehen dagegen eine fast vollständige Überschneidung der Bau- und Betriebsphasen mit einer Betriebsdauer von 150 Jahren vor, was sich durch das viel größere Abfallinventar erklären lässt.



Abbildung 15 – Wichtigste Tätigkeitsphasen im belgischen Standardkonzept für die geologische Tiefenlagerung in Stollen

9.2 Konkretisierung der Vorstellungen zum Bewertungsobjekt

Angesichts der wesentlichen Unterschiede zwischen den vier Standardkonzepten erfordert die deskriptive Bewertung der Umweltauswirkungen der geologischen Tiefenlagerung in Stollen, dass die Vorstellungen zum Bewertungsobjekt konkretisiert werden: Annahmen und Parameterwerte sind erforderlich (Abschnitt 9.2.1), sowie eine Bestandsaufnahme der wichtigsten berücksichtigten Umsetzungsaktivitäten (Abschnitt 9.2.2), von denen angenommen wird, dass sie Umweltauswirkungen (gemäß Scoping, vgl. Abschnitt 6.1.2) haben könnten.

9.2.1 Annahmen und Werte von Bemaßungsparametern

Die Annahmen, von denen für die Umweltverträglichkeitsprüfung ausgegangen wird, und die zum Teil absichtlich pessimistisch sind, sowie die Werte einiger wesentlicher dimensionsrelevanter Parameter werden von Experten beurteilt und hängen auch von den verfügbaren Daten ab. Die Werte der britischen Standardkonzepte sind zur Illustration im belgischen Referenzinventar angegeben. Diese Annahmen und Werte sollen nur Aufschluss darüber geben, was die geologische Tiefenlagerung in Stollen des belgischen Referenzinventars bedeuten könnte. Sie nehmen die genauen Merkmale eines zukünftigen geologischen Tiefenlagerprojekts nicht vorweg.

Phasen der Implementierung

Der Realisierungsplan entspricht dem Referenz-Realisierungsplan des belgischen Standardkonzepts (Abbildung 15 in Abschnitt 9.1.3) [NERAS 2018b]. Die verschiedenen Aktivitätsphasen folgen streng und ohne Überlappung aufeinander, und der vollständige Verschluss des Endlagers erfolgt am Ende der Betriebsphase.

Aktivitäten, die eher am Standort selbst als außerhalb stattfinden

- *Nachkonditionierung der Abfälle*: Die Nachkonditionierung der Abfälle, d. h. wenn sie in die Abfallgebinde verpackt werden, erfolgt am Standort des Endlagers und nicht an demjenigen des/der Zwischenlager; sie erfüllen die Kriterien der nuklearen Betriebsbewilligung der Nachkonditionierungsanlage bei ihrer Ankunft am Standort des Endlagers und sollten daher dort weder umverpackt noch neu konditioniert werden.

- *Herstellung von Beton und zementhaltiges Materialien:* der für den Bau der Oberflächenanlagen, der Untertageanlage und ihrer Zugänge erforderliche Beton, die für die Herstellung der Abfallgebände erforderlichen zementhaltiges Materialien und die zur Verfüllung der Lagerkammern erforderlichen Materialien (im Prinzip alle zementhaltigen Materialien) werden am Standort des Endlagers aus Rohstoffen erzeugt, die dorthin transportiert werden.

Bautechniken

- Die unterirdischen Zugänge durchqueren Grundwasserleiter und ihr Ausbruch erfordert daher ein vorübergehendes Einfrieren der durchquerten Grundwasserleiter bis zum Einbau der geplanten Verkleidung.
- Aufgrund der fehlenden Kenntnisse über die hydrogeologischen Eigenschaften des Standortes und folglich aufgrund der Unmöglichkeit, die Notwendigkeit der Anwendung von Techniken wie Schlitzwänden und Grundwasserabsenkung für den Bau der Oberflächenanlagen zu beurteilen, werden diese Techniken nicht berücksichtigt

Ausbruchmaterial

Das Ausbruchmaterial bleibt am Standort. Sie werden nicht als Verfüllmaterial für die Untertageanlage wiederverwendet oder zum Recycling an anderer Stelle vom Standort entfernt.

Flächen und Tiefe

- Grundfläche des Standorts: 1 km², von denen 0,4 km² als versiegelte Flächen gelten, d. h.:
 - ▶ ca. 0,1 km² für Straßen, Parkplätze und Oberflächenanlagen;
 - ▶ ca. 0,3 km² für oder durch die Lagerung des Ausbruchmaterials.
- Unterirdische Fläche:
 - ▶ Belgisches Standardkonzept: 3,9 km²;
 - ▶ Britische Standardkonzepte: de 1,9 bis 2,6 km².
- Tiefe:
 - ▶ Belgisches Standardkonzept: 400 Meter;
 - ▶ Britische Standardkonzepte: 500 bis 650 Meter.

Materialmengen

- Die Nivellierung des Standortes erzeugt kein überschüssiges Erdmaterial und es wird auch kein zusätzliches Erdmaterial hinzugefügt.
- Die berücksichtigten Materialmengen sind (Tabelle 9)
 - ▶ Ausbruchvolumen (unter der Annahme, dass es vollständig am Standort gelagert wird);
 - ▶ die für den Bau der Untertageanlage und ihrer Zugänge erforderlichen Betonmengen und die Mengen an zementhaltige Materialien für die Herstellung der Abfallgebände sowie für die Verfüllung der Anlage und ihrer Zugänge, wobei angenommen wird, dass es sich beim Verfüllmaterial um zementhaltige Materialien handelt.

Andere Materialmengen, insbesondere solche, die für den Bau der Oberflächenanlagen erforderlich sind, werden in dieser Phase nicht berücksichtigt.

Wasserverbrauch

Die für die Herstellung von Beton und zementhaltigen Materialien erforderlichen Wassermengen werden wie folgt geschätzt:

- 0,15 Volumen Wasser pro Volumen Beton oder zementhaltige Materialien, die für den Bau der Untertageanlage, ihrer Zugänge und der Abfallgebinde erforderlich sind;
- 0,35 Volumen Wasser pro Volumen zementhaltiges Verfüllmaterial.

Tabelle 9 – Vorläufige zusammenfassende Bewertung der Materialmengen, die bei der Implementierung einer geologischen Tiefenlagerungslösung in Stollen nach dem belgischen und den britischen Standardkonzepten in Betracht gezogen werden, bezogen auf das belgische Referenzinventar.

	Nach dem belgischen Standardkonzept [m ³]	Nach den generischen britischen Standardkonzepten [m ³]
Am Standort zu lagernde Materialien		
Ausbruchmaterial	1.300.000	960.000 – 1.590.000
Am Standort herzustellende Materialien		
Beton	680.000	118.000 – 248.000
Zementhaltiges Material		
Abfallgebinde B	41.000	0 ¹
Abfallgebinde C	42.000	0 ¹
Verfüllung von Zone B	140.000	0 ² – 132.000
Verfüllung von Zone C	280.000	540.000 – 1.890.000
Vollständiger Verschluss	94.000	Daten nicht verfügbar

¹ Nach den britischen Standardkonzepten kommt der Abfall in nachkonditionierter Form beim Endlager an.

² Lagerstollen für Abfälle der Kategorie B werden im britischen Standardkonzept für Evaporit nicht verfüllt.

Transport

- Betrachtet wird nur der *Transport radioaktiver Abfälle* und der *Transport der erforderlichen Rohstoffe* für die Herstellung
 - ▶ des Betons für den Bau der Untertageanlage und ihrer Zugänge;
 - ▶ der zementhaltigen Materialien zur Herstellung der Abfallgebinde;
 - ▶ der für die Verfüllung der Zonen B und C notwendigen (angenommenerweise zementhaltigen) Materialien;
 - ▶ der für die Verfüllung der zentralen Zonen und ihrer Zugänge notwendigen Materialien;

Der Transport der für die Oberflächenanlagen benötigten Materialien (Mengen nicht bewertet) sowie für andere Materialien wie etwa Stahl werden in dieser Phase nicht berücksichtigt.

- Der Transport erfolgt an Werktagen auf der Straße in Lastwagen von 10 m³.
- Die Transporte werden gleichmäßig über die Dauer der jeweiligen Aktivitätsphase verteilt.

9.2.2 Aktivitäten, die in den verschiedenen Phasen berücksichtigt werden

Die Umsetzung einer Lösung für die geologische Tiefenlagerung in Stollen ab dem Erhalt der nuklearen Bewilligung für die Errichtung und den Betrieb kann in mehrere Hauptaktivitätsphasen unterteilt werden (Abbildung 16). Die Wahl der Aktivitäten beruht auf Experteneinschätzungen: Es handelt sich um Aktivitäten, bei welchen das Eintreten einer oder mehrerer signifikanten Umweltauswirkungen (gemäss Scoping, vgl. Abschnitt 6.1.2) am wahrscheinlichsten ist. Die Auswirkungen dieser und anderer Umsetzungsaktivitäten, die zu

diesem Zeitpunkt nicht berücksichtigt wurden, müssen in späteren Phasen der schrittweisen Umweltverträglichkeitsprüfung genauer bewertet werden.

Die Umweltauswirkungen von Aktivitäten zur Rückführung des Standorts in eine weniger oder nicht bebaute Fläche nach vollständigem Verschluss des Endlagers und seiner Zugänge, über die künftige Generationen entscheiden werden müssen, werden ebenfalls soweit möglich später bewertet.



Abbildung 16 – Überblick über die in den verschiedenen Phasen der Implementierung einer geologischen Tiefenlagerung in Stollen bis zu ihrem vollständigen Verschluss sowie in der Zeit nach Verschluss, in der keine Aktivität zur Gewährleistung der Sicherheit erforderlich ist, berücksichtigten Hauptaktivitäten. Die Rückführung des Standorts in eine weniger oder nicht bebaute Fläche wird in der SUP nicht betrachtet (Abschnitt 6.1.2.1). Transport, der in allen Aktivitätsphasen eine funktionsübergreifende Aktivität darstellt, ist nicht dargestellt.

9.3 Umweltverträglichkeitsprüfung für die Periode vor und nach dem Verschluss

Die Umweltverträglichkeitsprüfung für die Periode vor und nach dem Verschluss ist im Wesentlichen beschreibend. Sie erfolgt in zwei Stufen:

- Die erste zielt darauf ab, Umsetzungsaktivitäten zu ermitteln, die a priori zumindest eine erhebliche Auswirkung auf die Umwelt haben (Abschnitt 9.3.1);
- In der zweiten Stufe werden die Auswirkungen der am Ende der ersten Phase ausgewählten Aktivitäten sowie die Auswirkungen der natürlichen Entwicklung nach dem Verschluss des Endlagersystems etwas detaillierter untersucht (Abschnitt 9.3.2).

In Übereinstimmung mit den während des Screening-Verfahrens getroffenen Entscheidungen und deren Ergebnissen wird eine Reihe (von Familien) von Auswirkungen nicht berücksichtigt (Abschnitt 6.1.1),

- entweder weil *ihre Bewertung zu diesem Zeitpunkt irrelevant oder unmöglich ist*, weil sie von zukünftigen Entscheidungen abhängt, wie z. B. der Wahl des Wirtgestein-Typs und des Endlagerungsstandorts sowie der Technologien, die ab der Umsetzung des Endlagerungsprojekts verfügbar sein werden;
- oder weil *angenommen wird, dass die Auswirkungen selber irrelevant oder vernachlässigbar sind*.

In beiden Fällen werden diese Auswirkungen in späteren Phasen der schrittweisen Umweltverträglichkeitsprüfung erneut geprüft. So werden Auswirkungen, die einem spontan einfallen und deren Bewertung zu diesem Zeitpunkt irrelevant oder unmöglich ist – etwa die Auswirkungen auf die Luft, die Auswirkungen von Lärm und Staub auf den Menschen, die Auswirkungen auf menschliche Aktivitäten oder die Veränderung der Landschaft – später bewertet. Ferner werden weitere Auswirkungen, welche als irrelevant oder vernachlässigbar eingestuft werden, ebenfalls später überprüft.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung geht davon aus, dass alle Aktivitäten, die für die Umsetzung der geologischen Tiefenlagerung in Stollen bis hin zum vollständigen Verschluss der Untertageanlage und ihrer Zugänge erforderlich sind, unter normalen Bedingungen stattfinden. Mit anderen Worten, es werden keine Störfälle oder Unfallsituationen und insbesondere keine allfällige versehentliche Verschmutzung berücksichtigt. Diese Situationen werden in späteren Phasen der schrittweisen Umweltverträglichkeitsprüfung, insbesondere im Sicherheitsdossier, untersucht. Für die Vorverschlussphase geht ferner die Bewertung davon aus, dass günstige Rahmenbedingungen für die Implementierung einer langfristig sicheren Entsorgungslösung (z. B. Wissenstransfer, Verfügbarkeit von Finanzmitteln oder Friedenszustand) im Laufe der Zeit aufrechterhalten werden.

Die Entwicklung eines zukünftigen geologischen Tiefenlagerprojekts erfolgt in Übereinstimmung mit den Bestimmungen des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens, insbesondere den Umwelt- und Strahlenschutzbestimmungen, die sich im Laufe der Jahrzehnte entwickeln. Dies ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Erlangung der für die Implementierung der Entsorgungslösung erforderlichen Bewilligungen, in Übereinstimmung mit bewährten Verfahren und nach bewährten Techniken in Bezug auf Sicherheit und Umweltschutz.

9.3.1 Ermittlung der Umsetzungsaktivitäten, die a priori zumindest eine erhebliche Auswirkung auf die Umwelt haben

Die Ermittlung der Aktivitäten zur Umsetzung der geologischen Tiefenlagerung in Stollen, die a priori zumindest erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt haben, erfolgt durch systematische Prüfung der Hauptaktivitäten im Hinblick auf die verschiedenen zu untersuchenden

Auswirkungen, die am Ende des Scopingverfahrens als in der SUP für die Vorverschlussphase identifiziert wurden (sog. „SUP-relevante Auswirkungen“, Abschnitt 6.1.2.1).

Dabei werden drei Gruppen von Umsetzungsaktivitäten identifiziert (Tabelle 10):

- Aktivitäten, die *a priori zumindest eine erhebliche (negative) Auswirkung auf die Umwelt* haben:
 - ▶ konventionelle Vorbereitung des Standorts;
 - ▶ Vorbereitung der Lagerzone für Ausbruchmaterial;
 - ▶ Bau von Oberflächenanlagen;
 - ▶ Lagerung des Ausbruchmaterials vor Ort;
 - ▶ Verbringen des Abfalls der Kategorie C im Endlager.Sie werden in Abschnitt 9.3.2 näher erläutert.
- Aktivitäten, die *a priori keine erhebliche Auswirkung auf die Umwelt haben, aber* dennoch in Abschnitt 9.3.2 näher untersucht werden, weil sie mit *radioaktiven Abfällen verbunden sind*:
 - ▶ Nachkonditionierung des Abfalls der Kategorie B;
 - ▶ Verbringen des Abfalls der Kategorie B im Endlager;
 - ▶ Nachkonditionierung des Abfalls der Kategorie C;
- weitere, nachstehend besprochene Aktivitäten.

Tabelle 10 – Ermittlung von Aktivitäten zur Umsetzung der geologischen Tiefenlagerung in Stollen, die zumindest a priori eine bedeutende Umweltauswirkung haben, und vorläufige Untersuchung der natürlichen Entwicklung des Endlagersystems nach dem Verschluss.

- x: Die (negative) Auswirkung ist bedeutend;
- ?: Es ist nicht möglich, zu beurteilen, ob es eine bedeutende (negative) Auswirkung gibt oder nicht;
- (x): Die Auswirkungen sind vorübergehend;
- ¹ Es wird keine Auswirkung auf die menschliche Gesundheit erwartet, aber dieser Punkt wird dennoch aus der Perspektive des Strahlenschutzes kurz in Abschnitt 9.3.2 behandelt.

Aktivitäten, die keine bedeutenden Auswirkungen haben würden, sind durch einen grün gefärbten Kasten gekennzeichnet.

	Auswirkungsfamilien			Individuelle Auswirkungen			
	Auswirkungen auf die Oberflächengewässer	Auswirkungen auf das Grundwasser	Auswirkungen auf den Boden	Veränderung des Untergrunds	Veränderung der Untergrundtemperatur	Auswirkung auf die menschliche Gesundheit	Auswirkungen auf Fauna und Flora
VORVERSCHLUSSPHASE							
1. Standortvorbereitung							
Konventionelle Vorbereitung	x		x				x
Vorbereitung der Lagerzone für Ausbruchmaterial	x		x				x
2. Bau der zentralen Zone und der Zone B							
Betrieb einer Betonmischanlage - Wasserverbrauch	?	?					
Bau von Oberflächenanlagen	x		x				x
Einfrieren von Boden und Untergrund (durch wasserführende Schichten)							
Ausbruch des Zugangs		?					
Verkleidung des Zugangs							
Ausbruch der zentralen Zone und der Zone B		?					
Verkleidung der zentralen Zone und der Zone B							
Lagerung des Ausbruchmaterials vor Ort	x		x				x
Behandlung von infiltriertem Wasser und Sickerwasser							
3. Betrieb von Zone B und Verschluss							
Betrieb einer Betonmischanlage - Wasserverbrauch	?	?					
Nachkonditionierung der Abfälle B							¹
Einlagerung der Abfälle B							¹
Verfüllung und Versiegelung							
Behandlung von infiltriertem Wasser und Sickerwasser							
4. Bau der Zone C							
Betrieb einer Betonmischanlage - Wasserverbrauch	?	?					
Ausbruch der Zone C		?					
Verkleidung der Zone C							
Lagerung des Ausbruchmaterials vor Ort	x		x				x
Behandlung von infiltriertem Wasser und Sickerwasser							
5. Betrieb von Zone C und Verschluss							
Betrieb einer Betonmischanlage - Wasserverbrauch	?	?					
Nachkonditionierung der Abfälle C							¹
Einlagerung der Abfälle C		(x)			(x)		¹
Verfüllung und Versiegelung							
Behandlung von infiltriertem Wasser und Sickerwasser							
6. Vollständiger Verschluss							
Betrieb einer Betonmischanlage - Wasserverbrauch	?	?					
Verfüllung und Versiegelung der Zugangsstollen und Zugang							
NACHVERSCHLUSSPHASE							
7. Entwicklung nach Verschluss							
Natürliche Entwicklung des Tiefenlagerungssystems		(x)		x	(x)		¹

Die Aktivitäten zur Umsetzung der geologischen Tiefenlagerung in Stollen, deren Umweltauswirkungen derzeit als vernachlässigbar angesehen werden und die keine radioaktiven Abfälle betreffen, und die Aktivitäten, für die bestimmte Arten von Auswirkungen nicht bewertet werden können, werden nachstehend mit einer kurzen Begründung beschrieben. Die *Transportaktivität* wird ebenfalls kurz betrachtet.

Wasserverbrauch für den Betrieb der Betonmischanlage Die Umweltauswirkungen des Wasserverbrauchs für den Betrieb der Betonmischanlage können nicht beurteilt werden, da ihre Herkunft (städtisches Leitungswasser oder Oberflächen- bzw. Grundwasser am Standort oder in dessen Nähe) unbekannt ist, ebenso wie das Verhältnis zwischen den benötigten Wassermengen und dem vorhandenen Oberflächen- bzw. Grundwasser unter Berücksichtigung der natürlichen Erneuerung durch Niederschlag. Bei Verwendung eines Wasservorrats am Standort oder in dessen Nähe hängen die Auswirkungen in hohem Maße von den hydrogeologischen Eigenschaften des Standorts sowie von seiner oberflächennahen und unterirdischen Umgebung ab. Es ist höchstens möglich, unter den gegebenen Annahmen eine erste Bewertung des durchschnittlichen Wasserverbrauchs pro Arbeitstag während der verschiedenen Aktivitätsphasen vorzunehmen (Tabelle 11).

Die Verwendung von Wasser für die Betonmischanlage kann, wenn Oberflächen- bzw. Grundwasser am Standort oder in dessen Nähe benutzt wird, den Wasserstand des Oberflächenwassers oder sogar die Struktureigenschaften von Wasserläufen oder den Verlauf bzw. den Spiegel oder den Anstieg des Grundwasserflusses verändern.

Tabelle 11 – Durchschnittlicher Wasserverbrauch pro Arbeitstag während der verschiedenen Aktivitätsphasen (siehe Abschnitt 9.2.1 für die Annahmen). Die Werte bezüglich der drei Standardkonzepte der britischen Studie sind dem belgischen Referenzinventar angepasst.

	Bau der Zonen B und C [40 Jahre]		Betrieb der Zone B [20 Jahre]		Betrieb der Zone C [20 Jahre]		Vollständiger Verschluss [5 Jahre]	
	Herzustellen [m ³]	Wasser/ Arbeitstag [m ³]	Herzustellen [m ³]	Wasser/ Arbeitstag [m ³]	Herzustellen [m ³]	Wasser/ Arbeitstag [m ³]	Herzustellen [m ³]	Wasser/ Arbeitstag [m ³]
Beton								
BE	680.000	10						
UK	118.000– 248.000	2–4						
Zementhaltige Materialien für die Abfallgebäude								
BE			41.000	1	42.000	1		
UK								
Zementhaltiges Verfüllmaterial								
BE			140.000	10	280.000	20	94.000	26
UK			0–132.000	0–9	540.000– 1.890.000	38–132	nicht verfügbar	
Insgesamt pro Arbeitstag								
BE		10		11		21		26
UK		2–4		0–9		38–132		

Vorübergehendes Einfrieren des Bodens und des Untergrunds während des Ausbruchs der Zugänge der Untertageanlage Abhängig vom Wassergehalt der durchquerten geologischen Formationen kann der Ausbruch der Zugänge der Untertageanlage ein Einfrieren des Bodens und/oder des Untergrunds erfordern, um die Wasserdichtigkeit und die Stabilität der Wände während des Ausbruchs sicherzustellen. Dieses Einfrieren ist vorübergehend, und die wasserdichten Gefrierrohre können isoliert werden, um das

Einfrieren außerhalb des durch die Gefrierrohre begrenzten Bereichs (Durchmesser von einigen Dutzend Metern) zu begrenzen.

Unter Berücksichtigung dieser Erwägungen und der sehr begrenzten seitlichen Ausdehnung der vorübergehend eingefrorenen Zonen wird davon ausgegangen, dass das Einfrieren des Bodens und des Untergrunds keine bedeutenden SUP-relevante Umweltauswirkungen hat.

Ausbruch der Zugänge und gleichzeitiges Anbringen der Auskleidung Da die mechanische Stabilität der Zugänge einer Untertageanlage bis zum vollständigen Verschluss gewährleistet sein muss, werden die Wände mit einer Auskleidung versehen, die deren Stabilität und ggf. deren Wasserdichtheit gewährleistet. Ihre Beschaffenheit unterscheidet sich je nach Art des Zugangs, seines Durchmessers und der Eigenschaften der durchquerten geologischen Formationen. Die chemischen Wechselwirkungen zwischen dieser Auskleidung und den Formationen, die sie durchquert, haben eine sehr geringe räumliche Ausdehnung. Schließlich muss bei der Umsetzung eines geologischen Tiefenlagerprojekts, als Kernpunkt, eine Beeinträchtigung des Aquitards durch die Bildung eines hydraulischen Kontakts zwischen den benachbarten Grundwasserleitern vermieden werden.

Unter Berücksichtigung dieser Überlegungen und der Tatsache, dass der Durchmesser der Zugänge einer Untertageanlage im Vergleich zur Ausdehnung der durchquerten Formationen sehr klein ist, wird davon ausgegangen, dass diese Zugänge keine bedeutenden SUP-relevanten Umweltauswirkungen haben.

Ohne die Eigenschaften der durchquerten geologischen Formationen zu kennen, ist es jedoch nicht möglich, eine Aussage über die möglichen Auswirkungen der Wasserinfiltration durch die Verkleidung der Zugänge auf den Grundwasserfluss und auf eine mögliche Absenkung des Grundwasserspiegels zu treffen.

Ausbruch der Untertageanlage und gleichzeitiges Anbringen der Auskleidung Die Untertageanlage wird im gewählten Wirtgestein in mehreren hundert Metern Tiefe gebaut. Die hydrogeologischen Eigenschaften des Wirtgesteins und seiner geologischen Umgebung sollten dazu beitragen, die Wasserbewegungen im Endlager zu begrenzen; der Ausbruch der Untertageanlagen wird mit gegebenenfalls angepassten industriellen Techniken durchgeführt.

Wie die Zugänge müssen auch die Wände der ausgebrochenen Hohlräume während des Baus und des Betriebs stabil sein. Zur Stabilisierung werden sie daher in der Regel mit einer Betonverkleidung in Form von Tübbing und/oder Spritzbeton versehen (Tabelle 8 in Abschnitt 9.1.2). Die chemischen Wechselwirkungen zwischen dieser Auskleidung und dem Wirtgestein haben eine sehr geringe räumliche Ausdehnung. Obwohl das Eindringen von Wasser in die Untertageanlage während der Bau- und Betriebsphase bei Tonformationen und kristallinen Gesteinen nicht ausgeschlossen werden kann, trägt die Auskleidung in diesen Formationen und die Abdichtung von Rissen zur Begrenzung dieser Wasserzuflüsse bei.

In Anbetracht dieser Überlegungen und der Tatsache, dass das ordnungsgemäße Funktionieren des Endlagersystems voraussetzt, dass die ursprünglichen Eigenschaften des Wirtgesteins während des Ausbruchs so weit wie möglich erhalten bleiben, wird davon ausgegangen, dass der Ausbruch selbst und die Auskleidung der ausgebrochenen Hohlräume keine signifikanten Auswirkungen auf das Wirtgestein und seine geologische Umgebung haben, und ganz allgemein wird davon ausgegangen, dass sie keine bedeutenden SUP-relevanten Umweltauswirkungen haben. Ohne die Eigenschaften des durchquerten Wirtgesteins und dessen geologischer Umgebung zu kennen, ist es jedoch nicht möglich, eine Aussage über die möglichen Auswirkungen der Wasserinfiltration auf den Grundwasserfluss und auf eine mögliche Absenkung des Grundwasserspiegels zu treffen.

Verfüllen und Versiegeln der Untertageanlage und ihrer Zugänge Das Verfüllen und Versiegeln der Untertageanlage und ihrer Zugänge soll insbesondere die mechanische Verformung des Wirtgesteins und der geologischen Formationen, durch die die Zugänge führen, begrenzen und den bevorzugten Transport von Radionukliden und chemischen Schadstoffen in die Anlage und ihre Zugänge letztendlich verhindern. Bei den verwendeten Materialien handelt es sich um gewöhnliche Materialien wie Beton, zementhaltige Materialien,

Kies und Bentonit sowie, in den britischen Standardkonzepten, um Materialien, die während des Baus aus dem Wirtgestein gewonnen werden und die vor der „Rückverfüllung“ zerkleinert werden.

Angesichts dieser Überlegungen und der Tatsache, dass die verwendeten Materialien die Eigenschaften des geologischen Umfelds, in dem sie verwendet werden, nicht wesentlich stören dürften, wird davon ausgegangen, dass die Verfüllung und Versiegelung der Untertageanlage und ihrer Zugänge keine bedeutenden SUP-relevanten Umweltauswirkungen haben.

Behandlung des in die Untertageanlage infiltrierten Wassers und des Sickerwassers aus dem Ausbruchmaterial Das in die Untertageanlage infiltrierte Wasser und das Sickerwasser aus dem Ausbruchmaterial werden in geeigneten Oberflächenanlagen behandelt, bevor es dem Recycling zugeführt oder kontrolliert abgeleitet wird.

Da die Qualität des aufbereiteten Wassers den geltenden Normen entsprechen muss, wird davon ausgegangen, dass sie keine bedeutenden SUP-relevanten Umweltauswirkungen haben.

Transport Die Umweltauswirkungen des Transports zum Standort, der eine bereichsübergreifende Tätigkeit für alle Tätigkeitsphasen darstellt, können nicht bewertet werden, insbesondere weil sie in hohem Maße von den zu überwindenden Entfernungen und den verwendeten Transportmitteln abhängen. Es ist unwahrscheinlich, dass sie bedeutende Umweltauswirkungen in der Art haben, die in diesem Stadium zu berücksichtigen sind. Eine erste Einschätzung der durchschnittlichen indikativen Anzahl von Lkw-Transporten von radioaktiven Abfällen sowie Bau- und Verfüllmaterialien, die in den verschiedenen Phasen der Aktivitäten erforderlich sind, ist jedoch innerhalb der Grenzen der getroffenen Annahmen möglich (Tabelle 12).

Tabelle 12 – Indikative durchschnittliche Anzahl von LKW-Transporten (radioaktive Abfälle, Rohmaterialien für die Herstellung von Beton und zementhaltigen Materialien) zum Standort, die während der verschiedenen Phasen der Aktivitäten erforderlich sind (siehe Abschnitt 9.2.1 für die Annahmen). Die Werte bezüglich der drei Standardkonzepte der britischen Studie sind dem belgischen Referenzinventar angepasst.

Bau der Zonen B und C [40 Jahre]		Betrieb der Zone B [20 Jahre]		Betrieb der Zone C [20 Jahre]		Vollständiger Verschluss [5 Jahre]	
Gesamtmenge	Transport/ Arbeitstag	Transport oder Gesamtmenge	Transport/ Arbeitstag	Transport oder Gesamtmenge	Transport/ Arbeitstag	Gesamtmenge	Transport/ Arbeitstag
Abfälle							
BE		4.811	1	521	< 1		
Beton							
BE	680.000 m ³		7				
UK	118.000– 248.000 m ³		1–3				
Zementhaltige Materialien für die Abfallgebände							
BE		41.000 m ³	1	42.000 m ³	1		
UK							
Zementhaltiges Verfüllmaterial							
BE		140.000 m ³	3	280.000 m ³	6	94.000 m ³	8
UK		0–132.000 m ³	0–3	540.000– 1.890.000 m ³	11–38	nicht verfügbar	
Insgesamt pro Arbeitstag							
BE		7	5	7	7	8	
UK		1–3	0–3	11–38			

9.3.2 Bewertung der Auswirkungen von Aktivitäten, die a priori zumindest eine bedeutende Auswirkung haben, und der Auswirkungen der natürlichen Entwicklung des Systems

Die Bewertung der Auswirkungen von Aktivitäten, die a priori zumindest eine bedeutende Auswirkung haben, und von der natürlichen Entwicklung des Endlagerungssystems nach dem Verschluss (Tabelle 13) erfolgt

- durch die systematische Berücksichtigung jeder dieser Aktivitäten in Bezug auf die verschiedenen Auswirkungen, die in der SUP für die Vorverschlussphase zu berücksichtigen sind (Abschnitt 6.1.2.1), wobei so weit wie möglich zwischen den verschiedenen Auswirkungen auf Oberflächenwasser, Grundwasser und Boden unterschieden wird, und
- durch die Untersuchung der natürlichen Entwicklung des Endlagersystems nach dem Verschluss im Hinblick auf die in der SUP zu berücksichtigenden Auswirkungen für diesen Zeitraum (Abschnitt 6.1.2.2).

Tabelle 13 – Bewertung der Auswirkungen von Aktivitäten, die a priori zumindest eine bedeutende Auswirkung haben, und von der natürlichen Entwicklung des Endlagerungssystems nach dem Verschluss.

x: die (negativen) Auswirkungen sind bedeutend;

(x): Die Auswirkungen sind vorübergehend;

¹ Obwohl keine Auswirkung auf die menschliche Gesundheit erwartet wird, wird dieser Punkt dennoch aus der Perspektive des Strahlenschutzes kurz behandelt.

	Auswirkungsfamilien						Individuelle Auswirkungen																		
	Auswirkungen auf die Oberflächengewässer		Auswirkungen auf das Grundwasser		Auswirkungen auf den Boden		Veränderung des Untergrunds	Veränderung der Untergrundtemperatur	Auswirkung auf die menschliche Gesundheit	Allgemeine Auswirkungen auf Fauna und Flora															
	Veränderung des Oberflächenniveaus	Veränderung der Speicherung + Retention des Regenwassers	Veränderung der Speicherung + Retention des Oberflächenwassers	Änderung der Oberflächenwassersäule	Veränderung der strukturellen Eigenschaften von Wasserläufen	Veränderung der Oberflächenwassertemperatur	Veränderung des Grundwassereinzugs	Beeinträchtigung der Grundwasserleiter	Veränderung des Grundwasserflusses	Veränderung oder Anstieg des Grundwasserspiegels	Veränderung des Grundwassers	Veränderung der Grundwassertemperatur	Veränderung der Verdunstung	Veränderung des Bodens	Veränderung der Bodentemperatur	Veränderung der Bodeninfiltrationskapazität	Veränderung der hydraulischen Eigenschaften des Bodens	Störung des Bodenprofils	Veränderung der Bodenstruktur (Verdichtung)	Veränderung des Untergrunds	Veränderung der Untergrundtemperatur	Auswirkung auf die menschliche Gesundheit	Allgemeine Auswirkungen auf Fauna und Flora		
VORVERSCHLUSSPHASE																									
1. Standortvorbereitung																									
	Konventionelle Vorbereitung	x	x																						
	Vorbereitung der Lagerzone für Ausbruchmaterial	x	x																						
2. Bau der zentralen Zone und der Zone B																									
	Bau von Oberflächenanlagen	x	x																						
	Lagerung des Ausbruchmaterials vor Ort	x	x																						
3. Betrieb von Zone B und Verschluss																									
	Nachkonditionierung der Abfälle B																								
	Einlagerung der Abfälle B																								
4. Bau der Zone C																									
	Lagerung des Ausbruchmaterials vor Ort	x	x																						
5. Betrieb von Zone C und Verschluss																									
	Nachkonditionierung der Abfälle C																								
	Einlagerung der Abfälle C																								
6. Vollständiger Verschluss																									
NACHVERSCHLUSSPHASE																									
7. Entwicklung nach Verschluss																									
	Natürliche Entwicklung des Tiefenlagerungssystems																								

Aktivitäten, die a priori zumindest eine bedeutende Auswirkung auf die Umwelt haben, werden im Folgenden kurz beschrieben, mit einer kurzen Bewertung der betreffenden Auswirkungen (siehe Abschnitt 9.2.1 für die Annahmen und Werte der verwendeten dimensionierungsrelevanten Parameter) und Beispielen für mögliche Maßnahmen zur Minderung, d. h. Maßnahmen zur Vermeidung, Verringerung und Kompensation negativer Auswirkungen. Die erwarteten bedeutenden Auswirkungen können aufgrund des konzeptionellen und allgemeinen Charakters des Plans nicht quantifiziert werden.

Vorbereitung des Standorts, einschließlich der Lagerfläche für Ausbruchmaterial, Bau der Oberflächenanlagen und Lagerung des Ausbruchmaterials vor Ort

Die konventionelle Vorbereitung der Lagerstätte, die Vorbereitung der Zone für die Lagerung des Ausbruchmaterials vor Ort, der Bau der Oberflächenanlagen und die Lagerung des Ausbruchmaterials vor Ort erzeugen gleichartige bedeutende Auswirkungen: Auswirkungen auf Oberflächenwasser, Boden sowie Flora und Fauna. Sie sind in ihrer Art vergleichbar mit den Auswirkungen der konventionellen Bearbeitung eines industriellen Grundstücks und der Bautätigkeiten auf diesem Grundstück. Es wird davon ausgegangen, dass sie keine bedeutenden Umweltauswirkungen auf das Grundwasser, den Untergrund und die menschliche Gesundheit haben.

- Die Abgrenzung eines Endlagers mit einer Fläche von etwa einem Quadratkilometer durch die Installation eines Zaunes verändert die ökologischen Zusammenhänge (Fragmentierung und Barrierewirkung). Es hat also Auswirkungen auf die Fauna.
- Die Entfernung von Vegetation auf einer Fläche von schätzungsweise 0,4 km², die für Oberflächenanlagen, Straßen und Parkplätze benötigt wird, sowie die Lagerung von Ausbruchmaterial und die damit verbundenen Landnutzungsänderungen führen zum Verlust von Ökotypen (der kleinsten homogenen Einheit der Landschaft) und, je nach Art des Gebietes, in dem sich der Standort befindet (Industriezone, Naturzone usw.), zum Verlust von ökologischen Nischen. Die Entfernung der Vegetation und Änderungen der Landnutzung wirken sich daher auf die Fauna und Flora aus.
- Die Standortvorbereitung, insbesondere für den Bau von Fahrbahnen (Straßen und Parkplätze) und Oberflächenanlagen sowie für die Lagerung von Ausbruchmaterial, erfordert Nivellierungsarbeiten. Diese Arbeiten können den Boden, insbesondere seine Infiltrationsfähigkeit und sein Profil, beeinträchtigen und Auswirkungen auf Flora und Fauna haben.
- Der Bau von Straßen und Oberflächenanlagen führt de facto zu einer Versiegelung der entsprechenden Flächen und zu mehr oder weniger wichtigen Verdichtungen des Bodens und die Verdichtung der Lagerfläche des Ausbruchmaterials und die Lagerung dieser Materialien haben die gleiche Wirkung.
 - ▶ Die Versiegelung eines Teils des Standortes kann die Speicherung und den Rückhalt von Regenwasser verringern und dazu führen, dass es schneller in Oberflächenwasser abgeleitet wird, wodurch sich der Oberflächenwasserspiegel verändert. Die Versiegelung reduziert auch die Infiltrationsfähigkeit des Bodens und verändert seine hydraulischen Eigenschaften.
 - ▶ Die Verdichtung des Bodens stört sein Profil und verändert seine Struktur.

Abmilderungsmaßnahmen

Das Ausmaß der Umweltauswirkungen hängt von den Merkmalen des Gebiets ab, in dem sich das Endlager befindet: Es ist wahrscheinlich, dass sie in einem Industriegebiet geringer ist als in einem Naturgebiet mit geringer vom Menschen verursachter Beschädigung des Bodens. Unabhängig vom Standort können jedoch Abmilderungsmaßnahmen geplant werden, um die Größenordnung zu begrenzen. Zum Beispiel:

- Die Verwendung von durchlässigem Belag für Parkplätze, der die Regenwasserversickerung fördert, und die Kontrolle der Abflussmengen außerhalb des Geländes können die negativen Auswirkungen der Versiegelung begrenzen;
- Das vor Ort gelagerte Ausbruchmaterial kann als Sichtschutz dienen und die Oberflächenanlagen verdecken; die Böschungen von Material, denen künftige Generationen einen endgültigen Charakter geben würden, können in eine für das Gelände konzipierte und für die Sanierung von Flora und Fauna förderliche Landschaftsstrategie integriert werden;
- Je nach Wirtgestein und Lagerkonzept und je nach den Möglichkeiten der Standortgestaltung kann das Ausbruchmaterial (nach SUP wird davon ausgegangen, dass es vollständig am Standort gelagert wird) eigentlich zumindest teilweise als Verfüllmaterial für die Untertageanlage verwendet werden oder kann bzw. muss abtransportiert werden. Das kristalline und tonige Ausbruchmaterial kann tatsächlich in Form von permanenten Böschungen vor Ort belassen, für die Verfüllung (von Teilen) der Untertageanlage verwendet oder außerhalb des Standorts transportiert werden, um wiederverwertet zu werden. Ausgebrochenes Evaporitmaterial muss hingegen für die Verfüllung (von Teilen) der Untertageanlage verwendet oder außerhalb des Standorts transportiert werden, da es löslich ist.

Nachkonditionierung von Abfällen der Kategorien B und C und Einbringen von Abfällen der Kategorie B in das Endlager

Die angenommenerweise am Standort selbst ausgeführte Nachkonditionierung von Abfällen der Kategorien B und C (wie im belgischen Modellkonzept), besteht darin, den konditionierten Abfall in spezielle Behälter zu verpacken, so dass die so erhaltenen Abfallgebinde die bei der Entwicklung des Endlagersystems festgelegten Merkmale und Eigenschaften aufweisen. Die Nachkonditionierung von Abfällen der Kategorie C beispielsweise ermöglicht es, die chemische Umgebung dieser Abfälle zu kontrollieren.

Die Nachkonditionierungsvorgänge und die Vorgänge zur Einlagerung des nachkonditionierten Abfalls in das Endlager haben unter den zu berücksichtigenden Auswirkungen keine wesentlichen Umweltauswirkungen. Insbesondere die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit werden als vernachlässigbar angesehen. Denn:

- die Nachkonditionierungsaktivitäten werden fernhantiert durchgeführt, um den Strahlenschutz der Arbeitnehmer zu gewährleisten; sie dürfen weder flüssige noch gasförmige radioaktive Stoffe freisetzen;
- Bei der Handhabung der Abfallgebinde werden die Arbeiter keiner ionisierenden Strahlung ausgesetzt, entweder weil diese Abfallgebinde eine Abschirmfunktion aufweisen oder weil deren Handhabung ferngesteuert erfolgt.

Diese Annahmen sind im Sicherheitsdossier der Nachkonditionierungsanlage und des Endlagers auf der Grundlage der geplanten Betriebsverfahren nachzuweisen.

Unterbringung des Abfalls der Kategorie C im Endlager

Die Einlagerung von Abfällen der Kategorie C in das Endlager umfasst Vorgänge derselben Art wie die Einlagerung von Abfällen der Kategorie B und hat ebenfalls keine bedeutenden SUP-relevanten Umweltauswirkungen, abgesehen von den Auswirkungen aufgrund der Wärmeentwicklung von Abfällen der Kategorie C.

Die von den Abfällen der Kategorie C abgegebene Wärme führt bereits während der Betriebsphase zu einem allmählichen und vorübergehenden Anstieg der Temperatur in der Untertageanlage, im Wirtgestein und in seiner Umgebung. Dieser im Sicherheitsdossier bewertete Temperaturanstieg ist so zu begrenzen, dass die Temperatur des Grundwassers den gesetzlich

zulässigen Grenzwert nicht überschreitet und das Einschluss- und Isolationsvermögen des Systems nicht beeinträchtigt wird.

Die Höchsttemperaturen in den einzelnen Barrieren – die sich je nach den für die technischen Barrieren verwendeten Materialien und des Wirtgestein-Typs unterscheiden – können insbesondere durch eine Erhöhung der Dauer der Zwischenlagerung der Abfälle und damit der Dauer der Abkühlung und/oder durch eine Vergrößerung des Abstands zwischen den Abfallgebinden in den Lagerstollen und/oder durch eine Vergrößerung des Abstands zwischen den Lagerstollen begrenzt werden.

Natürliche Entwicklung des Tiefenlagerungssystems in der Nachverschlussphase

Einmal verschlossen, kann das Endlagersystem seinen Zweck des passiven Schutzes von Mensch und Umwelt erfüllen. Es ist kein weiteres menschliches Eingreifen erforderlich und es werden keine bedeutenden Auswirkungen an der Erdoberfläche erwartet. Ein vorübergehender Anstieg der Temperatur des Untergrunds und des Grundwassers sowie eine Veränderung eines Teils des Untergrunds ist jedoch unvermeidbar.

In der Periode nach dem Verschluss können zwei Phasen unterschieden werden: die Zeit, in denen der Abfall der Kategorie C Wärme abgibt (mehrere tausend Jahre), und die Zeit danach.

- Die von den Abfällen der Kategorie C abgegebene Wärme führt zu einem allmählichen und vorübergehenden Anstieg der Temperatur in der Untertageanlage, im Wirtgestein und in seiner Umgebung. Sie kann auch dazu führen, dass sich der Untergrund ausdehnt und nach einigen tausend Jahren die Erdoberfläche langsam und vorübergehend um einige Zentimeter ansteigt, sowie zu einem kleinen und vorübergehenden Anstieg der Boden- und Oberflächenwassertemperatur. Diese verschiedenen Auswirkungen, die in einer späteren Phase der schrittweisen Umweltverträglichkeitsprüfung bewertet werden, können gegebenenfalls durch eine geeignete Lagerauslegung begrenzt werden (siehe oben unter *Unterbringung des Abfalls der Kategorie C im Endlager*).
- Die erwartete natürliche Entwicklung des Endlagersystems nach seinem vollständigen Verschluss verläuft grösstenteils identisch, unabhängig vom Konzept und Wirtgestein. Radionuklide – deren Radioaktivität mit der Zeit abnimmt – und chemische Schadstoffe werden für einen sehr langen Zeitraum eingeschlossen, verzögert und isoliert, zunächst durch eine Reihe speziell entwickelter technischer Barrieren und dann, nach der langsamen Degradation dieser Barrieren, durch das Wirtgestein. Auch längerfristig können geringe Konzentrationen von Radionukliden und chemischen Schadstoffen aus dem Wirtgestein in weitere geologische Schichten und in die Biosphäre eindringen.

Die erwartete natürliche Entwicklung des Endlagersystems wird im sogenannten „Referenz“-Szenario beschrieben, das im Rahmen des Sicherheitsdossiers entwickelt wurde. Es muss überzeugend nachweisen, dass das verschlossene Endlagersystem den Sicherheitsnormen entspricht und somit Mensch und Umwelt unter allen Umständen und so lange wie nötig vor den von den Abfällen ausgehenden Risiken schützt. Dieses Szenario stellt eine *umhüllende* Darstellung mehrerer möglicher Entwicklungen des Systems dar, einschließlich der Entwicklung, die am wahrscheinlichsten erscheint, als Funktion von Zeit und Raum. Die mit dem Referenzszenario verbundenen Unsicherheiten werden bewertet, was zur Entwicklung alternativer Szenarien führen kann (siehe auch Abschnitt 11.1.1 zur Robustheit).

Als Hauptauswirkung auf die Umwelt gilt bei der natürlichen Entwicklung des Endlagersystems langfristig eine Veränderung des Wirtgesteins, d. h. eine Veränderung eines Teils des tiefen Untergrundes. Diese Beeinträchtigung resultiert aus der Freisetzung von Radionukliden und von chemischen Verunreinigungen in das Wirtgestein, nachdem die technischen Barrieren ihre Einschlussfunktion nicht mehr erfüllen. Diese Freisetzung ist selbst Teil der natürlichen Entwicklung des Endlagersystems und muss im Sicherheitsdossier bewertet werden. Die Auswirkungen der Freisetzung von Radionukliden und

chemischen Schadstoffen auf andere Teile des Untergrundes und auf das Grundwasser müssen dagegen – und dies ist eine Grundvoraussetzung bei der Auslegung von Endlagerungssystemen – vernachlässigbar sein. Das Sicherheitsdossier muss auf überzeugende Weise nachweisen, dass die Menge an Radionukliden, die schließlich in andere Teile des Untergrunds freigesetzt wird, in der gleichen Größenordnung liegt wie die dort natürlicherweise vorkommende Menge an Radionukliden und dass die Konzentration der freigesetzten chemischen Schadstoffe unter den zulässigen Normen liegt. Schliesslich müssen die Auswirkungen der sehr langfristigen Freisetzung von Radionukliden und von chemischen Schadstoffen in die Biosphäre vernachlässigbar sein.

In Anbetracht dieser Überlegungen hat das Vorhandensein eines geologischen Tiefenlagers keine Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Die Einhaltung der Regeln und Grenzwerte des gesetzlichen Rahmens für Strahlenschutz und Umweltschutz stellt sicher, dass die Auswirkungen sehr gering und in jedem Fall vernachlässigbar sind im Vergleich zur gemittelten Exposition, insbesondere Strahlenexposition, für die Bevölkerung.

9.4 Bewertung der Umweltauswirkungen einer Erhöhung des Referenzinventars

Die erwarteten Umweltauswirkungen einer Erhöhung des Referenzinventars sind im Wesentlichen *von gleicher Art* wie diejenigen für das Referenzinventar, unabhängig davon, ob die Eigenschaften der zusätzlichen Abfälle mit denjenigen im Referenzinventar enthaltenen Abfälle vergleichbar sind oder nicht (siehe auch Kapitel 11 für Überlegungen über die Möglichkeiten einer geologischen Tiefenlagerlösung, eine Änderung des Referenzinventars zu absorbieren). Neue Arten von Abfällen, die in dieses Inventar aufgenommen werden sollen, können jedoch spezifische betriebliche Sicherheitsmaßnahmen und die Schaffung zusätzlicher Lagerbereiche in der Untertageanlage mit spezifischen technischen Barrieren erfordern, die alle im Sicherheitsdossier angemessen berücksichtigt werden sollten.

Eine Aufstockung des Referenzinventars würde zu einer *Erhöhung des Ausmaßes* bestimmter Auswirkungen führen, die in direktem Zusammenhang mit der erforderlichen Erhöhung der Endlagerkapazität stehen, und zwar insbesondere

- eine Vergrößerung der gesamten unterirdischen Fläche des Endlagers;
- eine Erhöhung des Volumens des oberirdisch zu lagernden Ausbruchmaterials, was die Fläche des Endlagers an der Oberfläche vergrößern könnte.

Schließlich würden je nachdem, ob die Bau- und Betriebsaktivitäten intensiviert und/oder über einen längeren Zeitraum verteilt würden, und je nach Art der Abfälle bestimmte Auswirkungen zunehmen und/oder länger andauern, insbesondere

- die Auswirkungen im Zusammenhang mit dem erhöhten Bedarf an Bau- und Verfüllmaterial, einschließlich der für den Transport der Rohstoffe erforderlichen Transporte;
- die Auswirkungen im Zusammenhang mit der Herstellung von Beton und zementhaltigen Materialien, insbesondere die Erhöhung der benötigten Wassermengen;
- Auswirkungen durch Wärmebelastung bei Erhöhung des Inventars wärmeproduzierender Abfälle.

Das Endlagersystem wäre jedoch weiterhin so konzipiert, dass der Schutz von Mensch und Umwelt so lange wie nötig gewährleistet ist, was im Sicherheitsdossier argumentativ dargelegt und nachgewiesen werden muss.

9.5 Überwachungsmaßnahmen oder Monitoring

Gemäß dem Gesetz vom 3. Juni 2014 zur Umsetzung der Richtlinie 2011/70/Euratom in belgisches Recht [Belgien 2014] muss die nationale Politik für die langfristige Entsorgung konditionierter hochaktiver und/oder langlebiger Abfälle zu einem späteren Zeitpunkt durch Überwachungsmaßnahmen für einen noch festzulegenden Zeitraum ergänzt werden, wobei diese Überwachungsmaßnahmen die Sicherheit des Endlagersystems nicht beeinträchtigen dürfen. Diese Bestimmung steht im Einklang mit Artikel 17 des Gesetzes vom 13. Februar 2006 [Belgien 2006], wonach die NERAS die erheblichen Umweltauswirkungen der Umsetzung des Plans überwachen muss, um in einem frühen Stadium seine unvorhergesehenen negativen Auswirkungen zu erkennen und korrigierend eingreifen zu können.

Das Programm zur Überwachung der Umweltauswirkungen bei der Umsetzung des Plans wird nach der Auswahl des Standorts in Übereinstimmung mit den Bestimmungen des zu diesem Zeitpunkt geltenden rechtlichen Rahmens und nach bewährter internationaler Praxis entwickelt. Sie wird dem Antrag auf eine nukleare Bewilligung für die Errichtung und den Betrieb des Endlagers beigefügt.

Es ist jedoch möglich, bestimmte Grundzüge des künftigen Überwachungsprogramms zu nennen: Es wird nicht-radiologische und radiologische Messungen am und außerhalb des Standorts umfassen, von der Standortwahl bis zum vollständigen Verschluss des Endlagers und seiner Zugänge, solange zukünftige Generationen diese fortsetzen wollen.

- **Von der Standortwahl bis zum Baubeginn** Mit der Überwachung, die ab der Standortwahl eingerichtet wird, soll eine vollständige Datenbank der *Ausgangsbedingungen* am Standort und in der Umgebung aufgebaut werden, so dass anschließend die Entwicklung der Werte der wesentlichen auswirkungsrelevanter Parameter überwacht werden kann, insbesondere die Auswirkungen auf Oberflächen- und Grundwasser, Boden und Untergrund, biologische Vielfalt, Luft und Lärmpegel. Diese Überwachung umfasst Messungen an der Oberfläche und in Erkundungsbohrlöchern, die während des Standortauswahlverfahrens abgeteuft und zur Überwachung des Untergrunds und des Grundwassers umgerüstet werden.
- **Vorverschlussphase** Das Überwachungsprogramm wird in der Vorverschlussphase verstärkt und auf die Oberflächenanlagen, die Untertageanlage und deren Zugänge ausgedehnt. Der Standort muss einer spezifischen radiologischen Überwachung unterzogen werden, um z. B. die Nicht-Kontamination der Luft in kerntechnischen Anlagen und die Nicht-Kontamination von freigesetzten gasförmigen und flüssigen Stoffen zu überprüfen.

Das Endlager wird auch in das radiologische Überwachungsprogramm für das Territorium der FANK integriert werden [FANK 2019]. Dieses Programm umfasst die globale Überwachung des Territoriums außerhalb von Gebieten, in denen bedeutende nukleare Aktivitäten durchgeführt werden, und die engmaschige Überwachung in der Umgebung von Nuklearanlagen, in denen eine Aktivität durchgeführt wird, die wahrscheinlich eine radiologische Auswirkung auf die Umwelt hat. Es sieht eine Reihe von Messungen von künstlicher und natürlicher Radioaktivität vor, wie z. B. Messungen der Radioaktivität in Luft, Regen, Oberflächen- und Trinkwasser, Böden, Flusssedimenten und Produkten der Nahrungskette (Milch, Fleisch, Fisch, Gemüse).

- **Nachverschlussphase** Obwohl nicht unabdingbar, wird die Überwachung im Prinzip während der natürlichen Entwicklung des Endlagersystems für einen von künftigen Generationen zu bestimmenden Zeitraum beibehalten. Sie wird im Prinzip von Massnahmen begleitet, um die Überlieferung von Informationen zum Standort des Tiefenlagers an künftige Generationen zu fördern.

9.6 Umweltverträglichkeitsprüfung einer multinationalen geologischen Tiefenlagerung in Stollen

Die Gesamtumweltbelastung einer multinationalen – oder gemeinsamen – geologischen Tiefenlagerung in Stollen ist a priori geringer als die Summe der Umweltauswirkungen der verschiedenen nationalen geologischen Tiefenlager, die eine multinationale Lösung überflüssig machen würde. In der Praxis wird die Differenz zwischen dieser Gesamtauswirkung und der Summe der einzelnen Auswirkungen jedoch sehr stark von den Kennzahlen der Partnerschaft abhängen: Anzahl der Partnerländer, jeweilige Inventare radioaktiver Abfälle, Entfernungen zwischen dem gemeinsamen Endlager im Gastland und den Zwischenlagern in den Exportländern usw. (Abbildung 17).

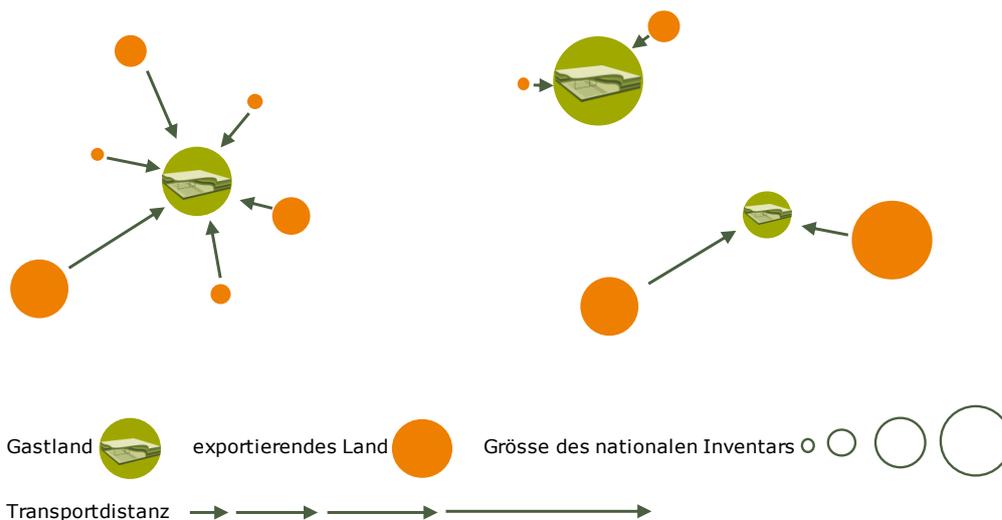


Abbildung 17 – Schematische Darstellung der verschiedenen möglichen Partnerschaftskonfigurationen bei der Implementierung eines gemeinsamen Endlagers.

Obwohl es mangels konkreter Daten nicht möglich ist, die Gesamt-Umweltbilanz einer Lösung für die gemeinsame Lagerung im Verhältnis zur Summe der Einzelbilanzen der nationalen Endlager, die sie ersetzt, zu ermitteln, ist es möglich, aus dem jeweiligen Blickwinkel der direkt von der Partnerschaft betroffenen Länder zu argumentieren: das Gastland, das Land oder die Länder, die ihre Abfälle in das Gastland exportieren, und das Land oder gegebenenfalls die Transitländer für den Abfalltransport.

Da eine geteilte geologische Endlagerung in Stollen und eine nationale geologische Endlagerung in Stollen konzeptuell betrachtet gleichwertig sind, sind auch ihre Umweltauswirkungen im Wesentlichen gleichartig. Die deskriptive Bewertung der Umweltauswirkungen der gemeinsamen Nutzung eines Endlagers durch mehrere Länder konzentriert sich daher auf die Unterschiede, ob positiv oder negativ, im Vergleich zu der Situation, in der jedes der Partnerländer seine eigene Entsorgungslösung umsetzen würde. Diese Unterschiede zeigen sich vor allem bei den konventionellen Umweltauswirkungen. Eine gemeinsame geologische Tiefenlagerung, die den gleichen internationalen Anforderungen und Standards der radiologischen Sicherheit, insbesondere den gleichen europäischen Standards für den Strahlenschutz [Europäischer Rat 2013], wie die nationalen geologischen Endlager, die oberirdischen kerntechnischen Anlagen und die Untertageanlage genügen muss, wird entsprechend dem Inventar der zu entsorgenden Abfälle so ausgelegt und betrieben, dass ihre radiologischen Auswirkungen unterhalb der genehmigten Grenzwerte bleibt.

Umweltauswirkungen für das Gastland

Negativ:

- die konventionellen Auswirkungen des möglicherweise erforderlichen Baus neuer Straßen- oder Schieneninfrastrukturen;
- Erhöhung der Intensität und/oder der Dauer der konventionellen Auswirkungen
 - ▶ Abfalltransporte;
 - ▶ die Implementierung aller für die gemeinsame geologische Tiefenlagerung erforderlichen Anlagen;
- Möglicherweise erhöhte Risiken für die Betreiber bei der Handhabung von Abfällen aufgrund des erhöhten Volumens.

Positiv:

- die Sanierung möglicher (radiologisch) kontaminierter Standorte oder andere für die Umwelt positive Maßnahmen, wenn ein Teil der Einnahmen aus den Exportländern dafür verwendet wird.

Umweltauswirkungen für das oder die Exportländer

Positiv:

- Ausbleiben der konventionellen Auswirkungen der Implementierung aller für die gemeinsame geologische Tiefenlagerung erforderlichen Anlagen;
- Verringerung der Umweltrisiken, insbesondere für Länder mit einer kleinen Fläche, mit einer zu beschränkten Auswahl an geeigneten Standorten und Wirtgesteinen und/oder mit zu beschränkten technischen, wissenschaftlichen und finanziellen Ressourcen, die dadurch die Zwischenlagerung ihrer Abfälle verlängern müssten.

Umweltauswirkungen für das oder die Transitländer

Negativ:

- konventionelle Auswirkungen des Abfalltransits.

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass Belgien, wenn es einem Partnerschaftsabkommen zur Entwicklung einer gemeinsamen geologischen Tiefenlagerungslösung beiträte und diese Lösung realisiert würde, eine Zunahme oder im Gegenteil eine Abnahme der Umweltauswirkungen im Vergleich zu einer nationalen Lagerlösung für seine eigenen Abfälle erfahren würde, je nachdem, ob es Gastland für die gemeinsame Lagerung werden würde oder nicht.

10 Umweltverträglichkeitsprüfung der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern

Da die Arbeiten zur geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern auf internationaler Ebene viel weniger weit fortgeschritten sind als diejenigen zur Tiefenlagerung in Stollen, ist die Bewertung der Umweltauswirkungen der Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern notwendigerweise summarischer als für die Tiefenlagerung in Stollen. Diese Einschätzung beruht auf der postulierten Annahme – die rein theoretischer Natur ist, da die Wissensbasis nur schwach entwickelt ist – dass die geologische Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern technisch machbar ist und ihre Betriebs- und Langzeitsicherheit überzeugend nachgewiesen werden können.

Da ein geologisches Tiefenlager in tiefen Bohrlöchern auf den gleichen Auslegungsprinzipien beruht wie ein Tiefenlager in Stollen, wären die von einem Tiefenlager in tiefen Bohrlöchern erwarteten wesentlichen Umweltauswirkungen von der gleichen Art wie diejenigen für ein Tiefenlager in Stollen (Tabelle 13), jedoch mit unterschiedlichen Ausmassen je nach Auswirkungen.

Wie im Falle des geologischen Tiefenlagers in Stollen würden die Auswirkungen des geologischen Tiefenlagers in tiefen Bohrlöchern in der Vorverschlussphase (Zeitraum bis zum Verschluss des letzten Bohrlochs und der Rückführung des Geländes in einen weniger oder nicht bebauten Zustand) in erster Linie zusammenhängen mit der Vorbereitung des Standorts, einschließlich der Vorbereitung des Lagerbereichs für das Ausbruchmaterial, mit dem Bau der Oberflächenanlagen und mit der Lagerung des Ausbruchmaterials. Obwohl es nicht möglich ist, diese Auswirkungen für das geologische Tiefenlager in tiefen Bohrlöchern ausführlicher zu beschreiben als für das Tiefenlager in Stollen, ist es doch möglich, als vorläufige und rein indikative Angabe, die Fläche des geologischen Tiefenlagers und das Gesamtvolumen des Ausbruchmaterials zu schätzen. Diese Schätzung basiert auf einem stark vereinfachten Standardkonzept für die geologische Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern. Jeder andere Ansatz wäre rein spekulativ. Tatsächlich verfügt Belgien über keine spezifischen Erfahrungen mit der Entwicklung der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern, und die Informationen in der Literatur sind heterogen und noch nicht auf internationaler Ebene validiert.

Das stark vereinfachte Standardkonzept für die geologische Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern – welches auf der derzeit unrealistischen Annahme basiert, dass diese Entsorgungsoption sowohl machbar als auch sicher ist – lässt sich wie folgt beschreiben (siehe Abbildung 8 in Abschnitt 3.2.1):

- Die Bohrungen werden an einem einzigen Standort räumlich zusammengefasst;
- Bei den Bohrungen handelt es sich um Vertikalbohrungen mit einer Tiefe von 5 Kilometern;
- Die Höhe des Einlagerungsbereichs in jedem Bohrloch beträgt 2 km, d.h. die nutzbare Höhe beträgt 1,9 km, wodurch die kumulierte Höhe der Zwischenversiegelungen im Einlagerungsbereich berücksichtigt wird;
- die Bohrungen haben einen Durchmesser zwischen 0,7 m und 1,5 m;
- Die gesamte Höhe der Bohrlöcher, die für die Lagerung des gesamten Abfalls im Referenzinventar erforderlich ist, wird aus den Längen der verschiedenen Arten bestehender und geplanter Abfallgebinde berechnet, ohne Berücksichtigung von deren Durchmessern;
- Die Abfallgebinde werden in nicht spezifizierten Endlagerbehältern eingelagert, die bei der Berechnung der für die Lagerung der Abfälle insgesamt erforderlichen Höhe der Bohrlöcher nicht berücksichtigt werden;

- Nachdem der Lagerbereich eines Bohrlochs befüllt ist, wird das Bohrloch verfüllt und versiegelt, unter Verwendung von Materialien in der Art, wie sie für die Verfüllung und Versiegelung der Zugänge zu den Lagerstollen verwendet werden;
- Die Bohrlöcher sind 0,2 km voneinander entfernt.

Auf dieser Grundlage würde die Grundfläche des Tiefenlagerstandorts etwa 1,5 km² betragen. Für die Lagerung von Abfällen der Kategorie B müssten 17 tiefe Bohrlöcher gebohrt werden, für die Lagerung von Abfällen der Kategorie C wären 20 tiefe Bohrlöcher erforderlich. Das Gesamtvolumen des Ausbruchs würde zwischen 70.000 m³ und 330.000 m³ und das Volumen der Verfüllung zwischen 42.000 m³ und 200.000 m³ betragen.

11 Robustheit und Flexibilität eines geologischen Tiefenlagers

Geologische Tiefenlager für konditionierte hochaktive und/oder langlebige Abfälle zeichnen sich insbesondere durch ihre Robustheit und Flexibilität aus. Für die geologische Tiefenlagerung in Stollen sind sie nachweisbar (Abschnitt 11.1), während sie für die geologische Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern (zurzeit) nur theoretischer Natur sind (Abschnitt 11.2).

11.1 Geologische Tiefenlagerung in Stollen

Nach dem internationalen Konsens ist die geologische Tiefenlagerung in Stollen robust (Abschnitt 11.1.1), d. h. es kann nachgewiesen werden, dass ihre Fähigkeit, den Schutz von Mensch und Umwelt so lange wie erforderlich zu gewährleisten, insbesondere dank der Redundanz der verschiedenen technischen und natürlichen Barrieren, nicht in unzulässiger Weise durch verschiedene Arten von Entwicklungen beeinträchtigt wird, und sie kann flexibel sein (Abschnitt 11.1.2), d. h. sie kann Änderungen des Referenzinventars der Abfälle auffangen.

11.1.1 Robustheit

Ein gut konzipiertes und implementiertes geologisches Tiefenlagersystem in Stollen – einschließlich der Wahl des Wirtgesteins und des Standorts des Endlagers in diesem Wirtgestein – ist robust gegenüber Veränderungen, die in der Nachverschlussphase auftreten werden. Dies ist einer der Aspekte, die durch das Sicherheitsdossier nachgewiesen werden müssen, die jedem Antrag auf eine nukleare Bewilligung für die Errichtung und den Betrieb eines Endlagers beigefügt werden müssen. Die Methoden und Kenntnisse für diese Art der Demonstration existieren sowohl in Belgien als auch international und sind Gegenstand einer ständigen Zusammenarbeit und Bewertung. Es geht um die folgenden Entwicklungen:

- *Natürliche Entwicklungen:* Die Wahl eines geeigneten Wirtgesteins und eines geeigneten Standorts ist wichtig, um die Abfälle in eine stabile Umgebung (z. B. mit geringer Seismizität) und außerhalb der Reichweite natürlicher Entwicklungen an der Erdoberfläche (z. B. globale Erwärmung, Vergletscherung oder Überschwemmungen) zu bringen;
- *Entwicklungen, die von der erwarteten Entwicklung des Systems abweichen:* die Wahl von Wirtgestein und technischen Barrieren bildet ein Multi-Barrieren-System. Die verschiedenen Barrieren wirken auf komplementäre und unabhängige Weise, so dass die Barrierenwirkung des Gesamtsystems nicht in unzulässiger Weise durch Entwicklungen wie die Schwächung oder das vorzeitige Versagen einer technischen Barriere beeinträchtigt wird;
- *Nicht-natürliche äußere Ereignisse:* Die Wahl eines geeigneten Standortes (ausreichende Tiefe, geringes Risiko eines Ressourcenkonflikts durch Nutzung des Untergrunds) spielt eine wichtige Rolle, um die Abfälle außerhalb der Reichweite von nicht-natürlichen äußeren Störungen an der Oberfläche (z. B. Explosion oder Flugzeugabsturz) zu platzieren; wenn die zu erhaltende Erinnerung an den Standort trotzdem verloren geht, kann eine nicht-natürliche äußere Störung in der Tiefe wie z. B. Bohrungen durch das Tiefenlager nicht ausgeschlossen werden, ist aber äußerst unwahrscheinlich.

Da ein geologisches Tiefenlager nach seinem vollständigen Verschluss kein menschliches Eingreifen mehr erfordert, um die Sicherheit zu gewährleisten, ist sie schließlich auch *nicht empfindlich gegenüber gesellschaftlichen Veränderungen* und damit gegenüber Risiken wie der Schwächung der behördlichen Aufsicht, der Auflösung der Betreibergesellschaft, dem Verlust des Wissens, dem Versiegen der Finanzierung oder sogar gegenüber den Risiken eines Krieges.

11.1.2 Flexibilität

Eine Lösung mit einer geologischen Tiefenlagerung in Stollen ist flexibel in Bezug auf die radiologischen Eigenschaften der zu entsorgenden Abfälle, die Abfallmengen und die Größe der Abfallgebinde (siehe auch Tabelle 14 für eine genauere Analyse):

- **Radiologische Eigenschaften:** Die Abfälle, die in das Referenzinventar (Abschnitt 2.4) aufgenommen werden könnten, sind von relativ ähnlicher Art wie Abfälle, die bereits zu diesem Inventar gehören, oder die mit der für das Referenzinventar entwickelten Entsorgungslösung kompatibel gemacht werden würden; darüber hinaus kann eine geologische Tiefenlagerung bei Bedarf so ausgelegt und betrieben werden, dass Abfälle mit unterschiedlichen Eigenschaften in getrennten Lagerbereichen, und möglicherweise zeitlich getrennt, gelagert werden;
- **Volumen:** Mit einer geeigneten Wahl des Wirtgesteins und einer geeigneten Anordnung der Lagerkammern in diesem Wirtgestein wäre die laterale Ausdehnung des Wirtgesteins ausreichend, um die Lagerkapazität nach Bedarf zu erhöhen;
- **Größe der Abfallgebinde:** Die Zugänge zu den Lagerbereichen eines geologischen Tiefenlagers haben einen Durchmesser von mehreren Metern, der für die Handhabung der nachkonditionierten Abfallgebinde ausreicht; umgekehrt können die Abmessungen der Abfallgebinde für neue Abfallarten bis zu einem gewissen Grad an die geometrischen Abmessungen der Anlage und ihrer Ausrüstung angepasst werden.

Tabelle 14 – Analyse der Flexibilität einer geologischen Tiefenlagerung in Stollen.

Flexibilität in Bezug auf		
die radiologischen Eigenschaften der Abfälle?	die Abfallmengen?	die Größe der Lagerungsfässer?
Abfälle der Kategorie A, die nicht oberirdisch gelagert werden könnten		
OK Diese Abfälle wären mit bestimmten Abfällen der Kategorie B relativ vergleichbar.	OK Zur Veranschaulichung: Die Übertragung von 5 %, d. h. 2.500 m ³ , der aktuell geschätzten Menge an Abfall der Kategorie A in die Kategorie B entspricht einer Erhöhung um 25 % der geschätzten Menge an konditioniertem Abfall der Kategorie B (ca. 11.000 m ³).	OK
Radiumhaltiger Abfall von Umicore (langlebig)		
OK Diese Abfälle haben radiologische Eigenschaften, die mit denen bestimmter Abfälle der Kategorie B (insbesondere radiumhaltige Abfälle) vergleichbar sind.	OK Die mögliche Menge (bis zu etwa 10.000 m ³ , die behandelt und konditioniert werden sollen) würde eine beträchtliche Erhöhung der geschätzten Menge von Abfällen der Kategorie B darstellen.	OK
! Die erhebliche Zunahme des Risikos einer Radongaskontamination würde spezifische Maßnahmen auf operativer Ebene erfordern.		
Natürlich radioaktive Stoffe (langlebig)		
wie für den radiumhaltigen Abfall von Umicore	OK Die mögliche Menge (einige hundert m ³ , die zu behandeln und zu konditionieren sind) würde nur eine geringe Erhöhung der geschätzten Menge an Abfällen der Kategorie B darstellen.	OK
Abfälle aus zukünftigen Kernanlagen		
! Dieser derzeit noch unbekannt Abfall sollte durch geeignete Behandlung und Konditionierung mit der geologischen Tiefenlagerung kompatibel gemacht werden, falls erforderlich.	OK	OK
Abfall der Kategorien B und C aus der eventuellen erneuten Verlängerung der Kernkraftwerke		
OK Diese Abfälle hätten ähnliche radiologische Eigenschaften wie die vorhandenen Abfälle.	OK	OK

11.2 Geologische Endlagerung in tiefen Bohrlöchern

Da die Konzepte der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern nach wie vor deutlich weniger ausgereift sind als die Konzepte der geologischen Tiefenlagerung in Stollen, sowohl in Bezug auf die einzusetzenden Technologien als auch in Bezug auf die Fähigkeit, ihre Betriebs- und Langzeitsicherheit nachzuweisen, sind die Robustheit und Flexibilität dieser Entsorgungsoption noch immer nur theoretischer Natur.

Ein System der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern ist daher theoretisch robust, da es auf den gleichen Auslegungsprinzipien beruht wie ein System der geologischen Tiefenlagerung in Stollen, aber die Möglichkeit, diese Robustheit nachzuweisen, ist nicht gegeben.

In der Theorie ist eine Lösung der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern auch flexibel, aber in geringerer Masse als die geologische Tiefenlagerung in Stollen:

- *in Bezug auf die radiologischen Eigenschaften der Abfälle:* Die Flexibilität ist aus den gleichen Gründen identisch (Tabelle 14);
- *in Bezug auf die Abfallmenge:* Theoretisch besteht volle Flexibilität, da es ausreicht, die Anzahl der Bohrlöcher je nach Volumen zu erhöhen, aber im Gegensatz zum Fall der Tiefenlagerung in Stollen wird die Grundfläche vergrößert; faktisch hat jedoch kein Land beschlossen, ein Inventar von mehreren tausend Kubikmetern Abfall in tiefen Bohrlöchern zu lagern;
- *in Bezug auf die Größe der Abfallgebinde:* Die Flexibilität ist begrenzt durch den erreichbaren Durchmesser von Bohrlöchern in den gewünschten Tiefen und durch die Fähigkeit, sehr schwere Abfallgebinde in großen Tiefen zu platzieren und gleichzeitig das Risiko zu vermeiden, dass diese Abfallgebinde fallen oder stecken bleiben könnten.

12 Abschließende Überlegungen und Empfehlungen

Die von der NERAS vorgeschlagene Lösung für die langfristige Entsorgung von konditionierten hochaktiven und/oder langlebigen Abfällen, *nämlich ein System der geologischen Tiefenlagerung auf belgischem Staatsgebiet*, zielt darauf ab, unter allen Umständen den Schutz von Mensch und Umwelt vor den Risiken, die diese Abfälle darstellen, zu gewährleisten, indem ihr Einschluss und ihre Isolierung von der Biosphäre so lange wie nötig gewährleistet wird, ohne dass ein menschliches Eingreifen erforderlich ist. Aufgrund des konzeptuellen und allgemeinen Charakters dieser Lösung – die einen Plan darstellt – ist die durchzuführende Umweltverträglichkeitsprüfung im Wesentlichen beschreibend. Sie wurde in dieser Phase auf die Auswirkungen beschränkt, die am Relevantesten erscheinen. Es werden weitere, spezifischere und detailliertere Umweltverträglichkeitsprüfungen der geologischen Tiefenlagerung folgen, wie sie durch ein oder mehrere Projekte umgesetzt werden sollen. Letztendlich sollten sämtliche Umweltauswirkungen des oder der vorgeschlagenen Lagerprojekte im Detail bewertet worden sein.

Da die NERAS weder die Umwelt – über und unter Tage – kennt, in der der Plan umgesetzt werden soll, noch das genaue Inventar der *letztendlich* betroffenen Abfälle, noch das durchzuführende technische Projekt und erst recht nicht wie es ausgeführt wird, hat sie die Aktivitäten zur Umsetzung des Plans identifiziert, die unter den SUP-relevanten Aktivitäten am ehesten erhebliche Auswirkungen haben dürften, ist aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht in der Lage, sich zu den ermittelten potenziellen Auswirkungen anders als in beschreibender und qualitativer Form zu äußern oder deren Ausmaß und Wirkungsradius zu beurteilen.

Bei der Umweltverträglichkeitsprüfung der geologischen Tiefenlagerung in Stollen wurden typische Lagerkonzepte für die drei weltweit am häufigsten betrachteten Arten von Wirtgesteinen, nämlich Evaporit, kristallines Gestein und Tonformationen, zugrunde gelegt. Bei Prüfung wird davon ausgegangen, dass die Abfälle in einer einzigen Anlage an einem einzigen Standort gelagert wurden, dass alle Umsetzungsaktivitäten wie geplant ablaufen und dass die für die Durchführung eines solchen Projekts über einen Zeitraum in der Größenordnung eines Jahrhunderts erforderlichen Rahmenbedingungen, wie z. B. gesetzliche Überwachungsmaßnahmen und Finanzierung, im Laufe der Zeit beibehalten werden. Jedes andere Szenario wäre rein spekulativ. Im Weiteren wurde die Prüfung auf die Auswirkungen auf Oberflächen- und Grundwasser, Boden, Untergrund sowie auf menschliche Gesundheit und Flora und Fauna beschränkt.

Die Umsetzungsaktivitäten der geologischen Tiefenlagerung in Stollen, die mit größter Wahrscheinlichkeit erhebliche Auswirkungen zu haben scheinen, sind die Vorbereitung des Standortes, dessen Grundfläche in der Größenordnung von einem Quadratkilometer liegen würde, und der Bau von Oberflächenanlagen sowie die Lagerung von Ausbruchmaterial vor Ort während des Baus der Untertageanlage und ihrer Zugänge. Die Hauptauswirkungen würden Oberflächenwasser und Boden sowie Flora und Fauna betreffen. Zu den Auswirkungen des Wasserverbrauchs für den Betrieb einer Betonmischanlage am Standort auf das Oberflächen- oder Grundwasser sowie zu den Auswirkungen des Eindringens von Wasser in die Untertageanlage auf das Grundwasser kann zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Aussage getroffen werden.

Tätigkeiten im direkten Zusammenhang mit der Handhabung der radioaktiven Abfallgebände bis zum endgültigen Verschluss des Tiefenlagers haben keine bedeutenden SUP-relevanten Umweltauswirkungen, und ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit im Besonderen werden als vernachlässigbar beurteilt. Dies muss im Sicherheitsdossier auf der Grundlage der geplanten Betriebsabläufe nachgewiesen werden.

Schließlich werden die Auswirkungen des Transports in hohem Maße von den zu überwindenden Entfernungen und den verwendeten Transportmitteln abhängen.

Die natürliche Entwicklung des Tiefenlagerungssystems wird in den ersten Jahrtausenden nach dem Verschluss zu einem vorübergehenden Anstieg der Temperatur des Grundwassers und des Untergrunds führen. Längerfristig wird sich auch das Wirtgestein nach der langsamen und allmählichen Freisetzung von Radionukliden und von chemischen Verunreinigungen außerhalb des Tiefenlagers verändern. Jedes Endlagersystem muss jedoch so ausgelegt sein, dass unter allen Umständen aufgrund des Zusammenwirkens von technischen und natürlichen Barrieren und des radioaktiven Zerfalls signifikante Auswirkungen der Freisetzung dieser Substanzen auf die anderen Bereiche des Untergrunds, auf das Grundwasser und erst recht auf die Biosphäre vermieden werden: Die erwarteten Auswirkungen eines geologischen Endlagers auf die menschliche Gesundheit sollten gleich Null oder vernachlässigbar sein. Die Einhaltung der Regeln und Grenzwerte im rechtlichen Rahmen des Strahlenschutzes und des Umweltschutzes stellt sicher, dass die Auswirkungen und ihre Größenordnung sehr gering und in jedem Fall vernachlässigbar sind im Vergleich zur gemittelten Exposition, insbesondere Strahlenexposition, für die Bevölkerung. Dies muss auf überzeugende Weise im Sicherheitsdossier nachgewiesen werden.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung beschränkte sich auf einige allgemeine Überlegungen in Bezug auf die geologische Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern, da diese Art der Entsorgung in Belgien nie untersucht wurde und die Heterogenität und mangelnde Redundanz der in der Literatur enthaltenen Informationen lassen keine ausreichend fundierte Bewertung zu. Man kann höchstens festhalten, dass die Umweltauswirkungen der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern von der gleichen Art wie diejenigen der Tiefenlagerung in Stollen wären, mit unterschiedlichem Ausmass je nach Auswirkungen.

Da der Plan das Ziel verfolgt, Mensch und Umwelt zu schützen, müssen seine Umweltauswirkungen als unvermeidliche Folge seiner Umsetzung angesehen werden, die so gering wie möglich gehalten und abgemindert werden sollten. Diese Umsetzung wird von der Erteilung von nuklearen und nichtnuklearen Bewilligungen abhängig gemacht, die bestätigen, dass die geltenden Standards eingehalten werden. Die Nichtumsetzung des Plans wird jedoch früher oder später negative Folgen haben: Die derzeitige Situation der vorübergehenden sicheren Lagerung an der Oberfläche wird sich schließlich in eine unsichere Situation verwandeln, da es unmöglich ist, eine sichere aktive Verwaltung ewig aufrechtzuerhalten. Dies wird schwerwiegende Folgen für Mensch und Umwelt haben.

Da laut NERAS die Ergebnisse der Umweltverträglichkeitsprüfung des Plans nicht geeignet sind, seinen Inhalt und damit die Einführung eines *Systems der geologischen Tiefenlagerung auf belgischem Staatsgebiet* als Grundlage der nationalen Politik für die langfristige Entsorgung konditionierter hochaktiver und/oder langlebiger Abfälle zu beeinflussen, fasst die NERAS im Folgenden einige *Schlüsselbotschaften der SUP* zusammen, die über die rein umweltbezogenen Überlegungen hinausgehen, die jedoch ihren Vorschlag untermauern und ergänzen.

Es gibt keine vernünftige Alternative für die geologische Tiefenlagerung

Nach dem internationalen Konsens zwischen den Entsorgern radioaktiver Abfälle und den Sicherheitsbehörden sowie innerhalb internationaler Organisationen gibt es für die langfristige Entsorgung konditionierter hochaktiver und/oder langlebiger Abfälle keine vernünftige Alternative zur geologischen Tiefenlagerung. Dies ist die Lösung, die von allen Ländern gewählt wurde, die eine nationale Politik für die langfristige Entsorgung solcher Abfälle haben. Sie wird durch 50 Jahre Forschung, Entwicklung und Demonstration auf internationaler und nationaler Ebene untermauert. Gemäss NERAS deuten bisherige Untersuchungen in Belgien darauf hin, dass es möglich wäre, auf belgischem Staatsgebiet eine geologische Tiefenlagerung zu realisieren, die den Schutz von Mensch und Umwelt vor den Risiken des Abfalls gewährleistet.

Die langfristige und die unbefristete Zwischenlagerung, vorgebracht als langfristige Entsorgungslösung, verstoßen gegen die Bestimmungen der Richtlinie 2011/70/Euratom und

werden von der FANK als unzulässig erachtet, und ein Zwischenlager, das in ein Endlager umgewandelt werden kann, müsste von Anfang an als Endlagersystem konzipiert werden, das die Rückholung der Abfälle für eine bestimmte Zeit ermöglicht, ohne dass die Entscheidungen, die getroffen werden, um die Rückholung zu ermöglichen, die Sicherheit und die Sicherung beeinträchtigen.

Andererseits sind fortgeschrittene Trennungs- und Transmutationstechnologien keine Technologien für die langfristige Entsorgung radioaktiver Abfälle und würden eine geologische Tiefenlagerung nicht überflüssig machen, schon allein deshalb nicht, weil sie nicht auf die bereits vorhandenen Abfälle anwendbar sind. In der Annahme, dass sie im industriellen Maßstab, bestenfalls in mehreren Jahrzehnten, umgesetzt werden können, erfordert diese Kette die Nutzung von fortgeschrittener Kernenergie mit Wiederaufarbeitung, in Belgien oder im Ausland. Diese Kette wird selbst während mindestens eines Jahrhunderts langlebigen Abfall produzieren.

Eine Lösung der geologischen Tiefenlagerung auf belgischem Staatsgebiet wäre hingegen die beste Möglichkeit, den Schutz von Mensch und Umwelt vor den Risiken, die von Abfällen ausgehen, auf robuste und passive Weise zu gewährleisten.

- *In gesetzlicher und regulatorischer Hinsicht* Die geologische Tiefenlagerung entspricht grundsätzlich den allgemeinen Anforderungen des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens für die Entsorgung radioaktiver Abfälle und kann entsprechend den Anforderungen des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens für Strahlenschutz und Umweltschutz konzipiert und umgesetzt werden.
- *In wissenschaftlicher und technischer Hinsicht* Es besteht hinreichendes Vertrauen, dass die Sicherheit der geologischen Tiefenlagerung nachgewiesen und mit industriellen Techniken umgesetzt werden kann.
- *In ethischer und gesellschaftlicher Hinsicht* Die geologische Tiefenlagerung minimiert die auf künftige Generationen übertragenen Belastungen, insbesondere indem sie sie von der Verantwortung entlastet, grundlegende Entscheidungen über die langfristige Abfallentsorgung treffen zu müssen und die entsprechende Finanzierung sicherzustellen.
- *In wirtschaftlicher und finanzieller Hinsicht* Die geologische Tiefenlagerung kann nach dem so genannten Verursacherprinzip finanziert werden, nach dem die Kosten für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle von den Verursachern getragen werden müssen.
- *Hinsichtlich der Flexibilität* Die geologische Tiefenlagerung kann auf Abfälle aus dem potenziellen zusätzlichen Inventar angewendet werden und ist darüber hinaus auf alle konditionierten hochaktiven und/oder langlebigen Abfälle anwendbar, die das Referenzinventar bilden. Letztere sind größtenteils unvermeidlich: Sie existieren bereits und werden auf dem von der industriellen Tochtergesellschaft Belgoprocess betriebenen NERAS-Standort in Dessel gelagert, oder sie entstehen gerade, im Wesentlichen in Form von Brennstoff, der an den Standorten der Kernkraftwerke oder Teilen von Gebäuden und Anlagen, in denen Aktivitäten mit Radioaktivität stattfinden, vorhanden ist.

Eine geologische Tiefenlagerung ist nur in der Zeit vor dem Verschluss anfällig für kontextbedingte Unsicherheiten. Seine Umsetzung setzt daher voraus, dass alle notwendigen Maßnahmen zur Begrenzung dieser Verwundbarkeit ergriffen werden (Aufrechterhaltung der Projektteams, Weitergabe von Erfahrung und Wissen zwischen aufeinander folgenden Generationen von Teams, Angemessenheit und Verfügbarkeit von Finanzmitteln usw.).

Die geologische Tiefenlagerung auf belgischem Staatsgebiet muss unverzüglich auf föderaler Ebene für die nationale Politik zur langfristigen Entsorgung von konditionierten hochaktiven und/oder langlebigen Abfällen verabschiedet werden

Die NERAS empfiehlt, dass Belgien *unverzüglich die geologische Tiefenlagerung auf dem belgischen Staatsgebiet als Basis der nationalen Politik zur langfristigen Entsorgung von*

konditionierten hochaktiven und/oder langlebigen Abfällen verabschiedet [NERAS 2017, 2018a, 2019e]. Bis diese Entscheidung getroffen ist:

- *In gesetzlicher und regulatorischer Hinsicht* Belgien verstößt nach wie vor gegen bestimmte Verpflichtungen, insbesondere gegen die Bestimmung der Europäischen Richtlinie 2011/70/Euratom, die die Mitgliedstaaten verpflichtet, eine nationale Politik für die langfristige Entsorgung ihrer radioaktiven Abfälle zu verfolgen. Infolgedessen ist die NERAS nicht in der Lage, die notwendigen Initiativen zu ergreifen, um schrittweise eine Entsorgungslösung umzusetzen und so ihren Auftrag als öffentlicher Dienst für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in vollem Umfang erfüllen zu können.
- *In wissenschaftlicher und technischer Hinsicht* Die Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsarbeiten der NERAS zur langfristig sicheren Entsorgung können nicht so organisiert werden, dass sie einer klar definierten Entsorgungspolitik dienen: Sie müssen sich daher weiterhin ausschließlich auf Arbeitsannahmen stützen. Die Ressourcen, insbesondere die finanziellen Mittel, könnten daher aufgrund der fehlenden Perspektiven reduziert werden. In diesem Fall könnten das auf nationaler Ebene angesammelte Fachwissen und Know-how, insbesondere in Bezug auf die Kenntnisse über Abfälle und die Bewertung der Sicherheit eines Endlagersystems, Brüche in der Kontinuität erleiden und sich daher allmählich verschlechtern. Langfristig müssten die betroffenen Akteure daher erhebliche Anstrengungen (finanziell, personell, zeitlich usw.) unternehmen, um die für die Umsetzung eines sicheren geologischen Tiefenlagerungssystems erforderliche Wissensbasis neu zu entwickeln. Die Abfallentsorgung vor der geologischen Tiefenlagerung wird zudem erschwert, solange die Hauptmerkmale des Endlagersystems nicht bekannt sind. Daher ist es schwierig, optimale Entscheidungen in Bezug auf die Neuverpackung oder Nachkonditionierung von Abfällen zu treffen, die bei der Lagerung Anzeichen einer Verschlechterung zeigen, ohne ihren endgültigen Bestimmungsort zu kennen.
- *In ethischer und gesellschaftlicher Hinsicht* Belgien verstößt gegen die ethischen Grundsätze der Generationengerechtigkeit, indem es die Belastungen, vor allem die Entscheidungs-, Finanz-, Entwicklungs- und Umsetzungsbelastungen, die an künftige Generationen weitergegeben werden, nicht minimiert und die Situation der Ungewissheit in den Gemeinden, auf deren Gebiet derzeit radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente vorübergehend gelagert werden, verlängert.

In ihrem zweiten fortschreitenden Bericht über die Umsetzung der Richtlinie 2011/70/Euratom [Europäische Kommission 2019] schreibt die Kommission: *„Die Entwicklung langfristiger Lösungen für die Entsorgung mittelaktiver und hoch aktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente, einschließlich Forschung, Entwicklung und Demonstration, muss in den Mitgliedstaaten so bald wie möglich intensiviert werden, um eine unangemessene Belastung künftiger Generationen zu vermeiden. Es sollten alle erforderlichen Maßnahmen getroffen werden, um auf politischer und technischer Ebene dafür zu sorgen, dass es in Zukunft nicht zu übermäßigen Verzögerungen bei der Projektumsetzung kommt. Alle Mitgliedstaaten sollten die Planung optimieren, ausreichende Mittel vorsehen, die erforderlichen Forschungs- und Ausbildungsmaßnahmen durchführen und den Dialog mit der Öffentlichkeit und anderen Interessenträgern führen, um rascher zu Ergebnissen zu gelangen.“*

- *In wirtschaftlicher und finanzieller Hinsicht*
 - ▶ Die NERAS ist nach wie vor nicht in der Lage, ihre Kostenschätzungen für die langfristige Abfallentsorgung auf eine technische Lösung im Rahmen einer nationalen Politik zu stützen. Die Annahme der geologischen Tiefenlagerung auf belgischem Staatsgebiet als Grundlage für die nationale langfristige Entsorgungspolitik wäre der erste einer Reihe von Entscheidungsschritten, die notwendig sind, um eine schrittweise genauere Schätzung dieser Kosten und eine schrittweise genauere Anwendung des Verursacherprinzips zu erreichen.

- In Belgien besteht ein wachsendes Risiko, dass neue Kosten entstehen. Zu den Kosten der Abfallentsorgung kommen nämlich noch die Kosten hinzu, die sich unmittelbar daraus ergeben, dass die derzeitige, als vorübergehend geplante Lagerung (die Ausgangssituation) über die geschätzten Fristen hinausgeht (Kosten für die Renovierung oder den Ersatz von Lagergebäuden, Kosten für die Neuverpackung/Nachkonditionierung von Abfällen, die im Laufe der Zeit Anzeichen einer Degradation in der Zwischenlagerung aufweisen, usw.).

Wenn der Plan nicht umgesetzt wird und somit das Umweltproblem der langfristigen Abfälle keine endgültige Lagerungslösung findet, wird die derzeitige Situation der oberirdischen Zwischenlagerung, die nur sicher bleibt, solange sie einer adäquaten aktiven Bewirtschaftung unterliegt, – zu einem unvorhersehbaren Zeitpunkt – in einer Situation enden, in der der Schutz von Mensch und Umwelt aufgrund einer Verschlechterung des allgemeinen Umfelds nicht mehr gewährleistet ist.

Eine Verschiebung der Verabschiedung der Grundlage der nationalen Politik wird nicht zu einer besseren Entscheidung führen

Die Verabschiedung der Grundlage der nationalen Politik für die langfristige Entsorgung konditionierter hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle wird unter keinen Umständen zu ihrer unmittelbaren Umsetzung vor Ort führen. Die wenigen Jahrzehnte, die für die Umsetzung der Prozesse (gesellschaftliche Beratung, Entscheidungsfindung, Regulierung usw.) erforderlich sind, die für den Baubeginn der geologischen Tiefenlagerung, für die Vervollständigung der wissenschaftlichen und technischen Kenntnisse entsprechend den getroffenen Entscheidungen und für die Vorbereitung der Bau- und Betriebsphase erforderlich sind, werden es de facto ermöglichen, die entsprechenden wissenschaftlichen und technischen Fortschritte und die gesellschaftlichen Anforderungen zu berücksichtigen. Eine Verschiebung der Verabschiedung der Grundlage der nationalen Politik *wird also nicht zu einer besseren Entscheidung führen*: Die in dieser Phase zu treffende Entscheidung ist rein strategisch und stellt nur den ersten – aber unverzichtbaren – Meilenstein in einem noch sehr langen, schrittweisen, partizipativen Entscheidungsprozess dar. Er sollte dazu führen, dass festgelegt wird, wo, wie und wann die Lagerungslösung implementiert werden soll. Ohne diese erste Entscheidung ist die NERAS nicht in der Lage, die Umsetzung dieser Lösung vorzubereiten, auf deren Prinzip man sich auf internationaler Ebene geeinigt hat.

Die geologische Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern könnte eine vorteilhafte Entsorgungslösung für eine begrenzte Abfallmenge sein, deren Rückholung man besonders erschweren möchte

In dieser Phase beschränkt sich die beantragte Entscheidung über die langfristige Entsorgung von konditionierten hochaktiven und/oder langlebigen Abfällen auf die Annahme der Option der geologischen Tiefenlagerung (auf belgischem Staatsgebiet), wobei keine Einzelheiten über die mögliche Rolle der Option der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern im Vergleich zu der geologischen Tiefenlagerung in Stollen enthalten sind. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass die geologische Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern nur eine mögliche Ergänzung zur geologischen Tiefenlagerung in Stollen ist und keine vollwertige Ersatzoption darstellt.

Selbst in der Annahme, dass es im belgischen Untergrund ein oder mehrere für die Lagerung in tiefen Bohrlöchern geeignete Wirtgesteine gäbe, und dass ein völlig neues Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprogramm für diese Art der Lagerung eingerichtet wird und günstige Ergebnisse liefert, ist es sehr unwahrscheinlich, dass es jemals möglich sein wird, einen großen Teil der bestehenden und zu erwartenden Gebinde konditionierter langlebiger Abfälle mit schwacher bis mittlerer Radioaktivität (Abfall der Kategorie B), deren Dimensionen die derzeitigen technologischen Möglichkeiten und möglichen Entwicklungen übersteigen, in tiefen Bohrlöchern zu lagern. Darüber hinaus kann derzeit nicht mit Sicherheit gesagt werden,

dass die Abfallgebinde im Falle eines Absturzes oder eines Einklemmens oberhalb des Endlagerungsbereichs geborgen werden könnten, was ein Sicherheitsproblem darstellt. Es ist erst recht nicht möglich, zu behaupten, dass sie nach dem vollständigen Verschluss der Bohrlöcher geborgen werden könnten.

Die geologische Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern ist daher derzeit keine langfristige Entsorgungsoption für das gesamte Referenzinventar und wird es vielleicht nie sein. Andererseits könnte sie eine vorteilhafte langfristige Lösung für die Entsorgung begrenzter Abfallmengen sein, von denen man sich wünscht, dass sie beispielsweise aus Gründen der Nichtverbreitung nie geborgen werden könnten.

Unsicherheiten über die Möglichkeiten einer angemessenen Umsetzung der Technologie der geologischen Tiefenlagerung in tiefen Bohrlöchern stellen kein Hindernis für die Wahl des Prinzips der geologischen Tiefenlagerung als Grundlage für die nationale Politik dar.

Eine politische Entscheidung zugunsten eines geteilten geologischen Endlagers würde Belgien nicht von der Fortsetzung seines nationalen geologischen Tiefenlagerungsprogramms ausnehmen und keine Garantie auf ein schnelleres Ergebnis bieten

Obwohl der internationale und europäische gesetzliche und regulatorische Rahmen sie unter bestimmten Bedingungen erlaubt, ist die Lösung der multinationalen oder gemeinsamen geologischen Tiefenlagerung nicht die Referenzlösung, die in diesem Rahmen befürwortet wird. Das Gemeinsame Übereinkommen der IAEA (1997) und die Richtlinie 2011/70/Euratom sehen vor, dass radioaktive Abfälle grundsätzlich in demjenigen Staat gelagert werden müssen, in dem sie erzeugt wurden. Das Gesetz vom 8. August 1980 in seiner geänderten Fassung bestimmt, dass *„auf belgischem Staatsgebiet erzeugte radioaktive Abfälle dort gelagert werden“*, es sei denn, es werden bestimmte Bedingungen erfüllt.

In Übereinstimmung mit den Bestimmungen des gesetzlichen und regulatorischen Rahmens schlägt die NERAS eine nationale Lösung für die langfristige Entsorgung von konditioniertem hochaktivem und/oder langlebigem Abfall vor, die auf dem belgischen Staatsgebiet umgesetzt werden soll. Die mögliche Entscheidung, Belgien zu einer Initiative zu verpflichten, die auf die Entwicklung einer mit einem oder mehreren anderen Ländern geteilten Lagerlösung abzielt, ist eine politische Entscheidung und liegt daher nicht im Zuständigkeitsbereich der NERAS. Die Teilnahme an einer solchen Initiative würde Belgien jedoch nicht davon befreien, weiterhin in sein nationales Endlagerprogramm zu investieren, bis die gemeinsame Endlagerung im Ausland oder in Belgien in Betrieb genommen wird. Gemäß internationalem Konsens müssen Länder, die an einer Initiative zur Entwicklung einer gemeinsamen Endlagerlösung beteiligt sind, ihr eigenes Fachwissen weiterentwickeln und eine nationale Lösung für die eigenen radioaktiven Abfälle erarbeiten, nach dem sogenannten *zweigleisigen Ansatz*. Die Realisierbarkeit einer möglichen gemeinsamen Entsorgungslösung zwischen europäischen Ländern ist in der Tat dadurch begrenzt, dass etwa die Hälfte von ihnen, einschließlich der Länder mit den am weitesten fortgeschrittenen Entsorgungsprogrammen, die Einfuhr ausländischer radioaktiver Abfälle in ihr Hoheitsgebiet zur Entsorgung verbieten.

Obwohl die Gesamtumweltbelastung einer gemeinsamen geologischen Tiefenlagerlösung in Stollen a priori geringer ist als die Summe der Umweltauswirkungen der nationalen geologischen Tiefenlager, auf die die multinationale Partnerschaft verzichten könnte, zeigt sich in den zahlreichen Studien zur Frage der Entwicklung gemeinsamer geologischer Tiefenlagerlösungen, dass der Faktor „Umweltbelastung“ praktisch nicht vorhanden ist. Diese Arbeiten befassen sich hauptsächlich mit entscheidenderen Fragen, wie den wichtigsten potenziellen Vorteilen (Größenvorteile, gemeinsame Nutzung wissenschaftlicher und technischer Ressourcen usw.), den objektiven Nachteilen (zunehmende Transportentfernungen für radioaktive Abfälle, Notwendigkeit der Berücksichtigung einer größeren Vielfalt von Abfällen usw.) und den mit der Durchführung einer solchen Lagerung verbundenen Herausforderungen (Erlangung der politischen und gesellschaftlichen Akzeptanz der Einfuhr ausländischer

radioaktiver Abfälle zur Lagerung in einem potenziellen Gastland, Lösung aller rechtlichen und institutionellen Fragen usw.). Es zeigt sich, dass allein der Begriff der gemeinsamen Lagerung eine Reihe zusätzlicher Herausforderungen im Vergleich zur nationalen Lagerung mit sich bringt. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass die Kontrolle über das Projekt und/oder seinen Zeitplan verloren geht.

Anhang 1 Akronyme

Andra	<i>Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs</i> (Nationale Agentur für die Behandlung radioaktiver Abfälle) (Frankreich)
ASN	<i>Autorité de sûreté nucléaire</i> (Behörde für nukleare Sicherheit) (Frankreich)
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung (Deutschland)
CEA	<i>Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives</i> (Kommissariat für Kernenergie) (Frankreich)
CNE	<i>Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs</i> (Nationale Kommission für die Auswertung von Forschung und Studien über radioaktive Materialien und Abfallbewirtschaftung) (Frankreich)
EK	Europäische Kommission
FANK	Föderalagentur für Nuklearkontrolle / <i>Agence fédérale de Contrôle nucléaire / Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle</i> (Belgien)
FÖD	Föderaler Öffentlicher Dienst
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation / <i>International Atomic Energy Agency</i>
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i> (Internationale Strahlenschutzkommission)
IRSN	<i>Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire</i> (Institut für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit) (Frankreich)
MOX	Mischoxid-Brennelemente
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Schweiz)
NEA	<i>Nuclear Energy Agency of the OECD</i> (Agentur für Kernenergie der OECD)
NERAS	Nationale Einrichtung für Radioaktive Abfälle und Angereicherte Spaltmaterialien / <i>Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies / Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen</i> (Belgien)
NNL	<i>National Nuclear Laboratory</i> (Vereinigtes Königreich)
NWMO	<i>Nuclear Waste Management Organization / Société de gestion des déchets nucléaires</i> (Kanada)
OECD	<i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i> (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
Posiva	Finnische Organisation für die Entsorgung radioaktiver Abfälle
RWM	<i>Radioactive Waste Management</i> (Vereinigtes Königreich)
SUP	Strategische Umweltverträglichkeitsprüfung
t SM	Tonne Schwermetall
UOX	Uranoxid-Brennelemente

Anhang 2 Referenzen der Dokumente, die die nationalen Politiken für die langfristig sichere Entsorgung der ausländischen Staaten festlegen oder darauf Bezug nehmen

Die nationalen Politiken zur langfristig sicheren Entsorgung ihrer konditionierten hoch-radioaktiven und/oder langlebigen Abfälle der OECD- und EU-Länder, die mindestens einen kommerziellen Kernreaktor in Betrieb oder dauerhaft abgeschaltet haben (Abschnitt 3.5), werden durch die folgenden Dokumente festgelegt oder in ihnen erwähnt:

Bulgarien

B-C: The Republic of Bulgaria, Sixth National Report on Fulfilment of the Obligations under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Sofia, 2017

Deutschland

A-B: Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) vom 23. Dezember 1959, abgeändert und verkündet am 15. Juli 1985, letzte Änderung am 26. Juli 2016, Berichtigung am 15. Dezember 2016

Finnland

C: Nuclear Energy Act (990/1987)

Frankreich

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

Italien

B-C: Programma Nazionale per la gestione del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi elaborato ai sensi del Decreto Legislativo n.45/2014 di recepimento della Direttiva 2011/70/EURATOM che istituisce un quadro comunitario per la gestione responsabile e sicura del combustibile nucleare esaurito e dei rifiuti radioattivi – Testo consolidato a seguito del procedimento di Valutazione Ambientale Strategica concluso con il decreto di VAS n.340 del 10 dicembre 2018

Japan

B: Final Disposal Act of June 2000, as amended in June 2007, zitiert in: National Report of Japan for the Sixth Review Meeting, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Oktober 2017

C: Final Disposal Act of June 2000, as amended in June 2007, zitiert in: National Report of Japan for the Sixth Review Meeting, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Oktober 2017

Kanada

A-B: Nuclear Fuel Waste Act, S.C. 2002, Kapitel 23

C: Nuclear Fuel Waste Act, S.C. 2002, Kapitel 23, und Wahl der geologischen Endlagerungslösung durch die kanadische Regierung, zitiert in: Canadian National Report for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Sixth Report, Oktober 2017

Niederlande

A-B-C: Ministry of Housing, Physical Planning and Environment (VROM), Radioactive waste policy in The Netherlands; An outline of the Government's position, September 1984

Rumänien

B-C: Romania, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Rumänien, The Sixth National Report, 2017

Schweden

A-B: Act on Nuclear Activities 1984:3

C: Act on Nuclear Activities 1984:3, und Wahl des Standorts durch SKB im Jahr 2009, zitiert in: <https://www.skb.com/future-projects/the-spent-fuel-repository/how-forsmark-was-selected>

Schweiz

A-B und C: Kernenergiegesetz vom 21. März 2003, in Kraft seit dem 1. Januar 2005; Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004

Slowakei

C: Beschluss der Regierung der Slowakischen Republik Nr. 387/2015 vom 8. Juli 2015 zum Vorschlag der nationalen Politik und des nationalen Programms für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle in der Slowakischen Republik als Aktualisierung des strategischen Dokuments „Strategie für die Endphase der friedlichen Nutzung der Kernenergie in der Slowakischen Republik“ [NERAS-Übersetzung]

Slowenien

C: Resolution on the National Programme for Managing Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel 2016–2025, April 2016, zitiert in: Sixth Slovenian Report under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Oktober 2017

Spanien

B-C: Segundo Informe Nacional sobre la aplicación de la Directiva 2011/70/Euratom por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos, Juli 2018

Südkorea

C: Basic Plan on Management of High level Radioactive Waste, zitiert in: Korean Sixth National Report under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Oktober 2017

Tschechien

C: Policy for Radioactive Waste Management and Spent Fuel Management in the Czech Republic approved by the Czech government Resolution No. 487 of 15 May 2002 and its update, the draft of which was approved on 15 December 2014, zitiert in: The Czech Republic National Report under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Prag 2017

Ungarn

A-B und C: Act CXVI of 1996 on Atomic Energy (adopted by the Parliament of Hungary on 10 December 1996), zitiert in: Hungary National Report, Sixth Report prepared within the framework of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, 2017

Vereinigte Staaten von Amerika

C: Nuclear Waste Policy Act of 1982 as amended with appropriations acts appended, März 2004

Vereinigtes Königreich

B-C: Response to the Report and Recommendations from the Committee on Radioactive Waste Management (CoRWM) – By the UK Government and the devolved administrations, 2006

Anhang 3 **Stellungnahme des Beratungsausschusses und wie sie behandelt wurde**

Die Stellungnahme, die der SUP-Beratungsausschuss [SUP-Ausschuss 2019] in Übereinstimmung mit dem Gesetz vom 13. Februar 2006 zum Entwurf des Inhaltverzeichnis der vorliegenden SUP abgegeben hat, liegt dem Entwurf des Inhaltverzeichnis als Anhang bei, zusammen mit den jeweiligen Antworten zu den Empfehlungen des Ausschusses. Der Entwurf des Inhaltverzeichnis wurde anderweitig nicht geändert. Das daraus resultierende Dokument stellt das *Verzeichnis des Berichts über die Umweltauswirkungen (Strategische Umweltverträglichkeitsprüfung – SUP) für den Vorentwurf des Königlichen Erlasses zur Festlegung des Verabschiedungsverfahrens der nationalen Politik bezüglich der langfristig sicheren Entsorgung von konditioniertem hochradioaktivem und/oder langlebigem Abfall und zur Bestimmung der langfristig Entsorgungslösung für diesen Abfall* dar, das dem Beratungsausschuss übermittelt wurde.

Aus Gründen der Transparenz wird die Stellungnahme des Beratungsausschusses zusammen mit den Antworten der NERAS auf die verschiedenen angesprochenen Punkte nachstehend in Kursivschrift [NERAS-Übersetzung] wiedergegeben.

Einleitende Bemerkungen

[4] Der SUP-Ausschuss unterstützt die Absicht der NERAS, die Politik der sicheren Endlagerung für Mensch und Umwelt in mehreren Stufen zu gestalten, mit dem hypothetischen Ziel, bis 2050 mit der Arbeit beginnen zu können. Der SUP-Ausschuss betont, dass es sehr wichtig ist, dass der Entscheidungsprozess in dieser Angelegenheit nicht unnötig verzögert wird.

[5] Der SUP-Ausschuss stimmt dem konzeptuellen und strategischen Charakter der ersten Phase des Politikplans, d. h. dem nationalen Politikvorschlag, zu und begrüßt die Absicht, dem SUP-Ausschuss die folgenden Phasen des Politikgestaltungsprozesses vorzulegen.

[6] Der Ausschuss schließt sich der Auffassung an, dass es aufgrund der noch nicht festgelegten geografischen Abgrenzung und des geologischen Umfelds nicht unbedingt möglich ist, in dieser Phase grenzüberschreitende Auswirkungen zu prüfen, sondern dass die vorgelegten Dokumente an die SUP-Experten der Mitgliedstaaten der Europäischen Union weitergeleitet werden sollten.

[7] Der SUP-Ausschuss schließt sich der Auffassung an, dass der vorgelegte Entwurf des Inhaltverzeichnis ein gutes Instrument ist, auf das sich die Umweltverträglichkeitsprüfung stützen kann. Dennoch möchte der SUP-Ausschuss die folgenden Empfehlungen aussprechen.

Alternativen zum Plan

[8] Die vorgestellte Alternative ist die voraussichtliche Entwicklung der Referenzsituation bei Nichtdurchführung des Plans. Diese Referenzsituation besteht gegenwärtig in der vorübergehenden oberflächennahen Lagerung in Lagergebäuden in Dessel. Dieses Szenario muss im Detail entwickelt werden. Dies gibt den verantwortlichen Politikern und der Öffentlichkeit ein klares Bild von den Risiken für den Fall, dass sie keine (rechtzeitige) Entscheidung treffen.

Das Szenario für die Referenzsituation bei Nichtdurchführung des Plans wurde erweitert (Abschnitt 7.2). Es ist jedoch nicht möglich, es weiter zu entwickeln, da es mit Unsicherheiten behaftet ist: Es ist unmöglich vorherzusehen, aufgrund welcher kontextuellen Unsicherheiten (Gefahr der Verschlechterung der regulatorischen Aufsicht, der Auflösung der Betreibergesellschaft, des Wissensabbaus, von Finanzierungsengpässen, des Krieges usw.) und wann (in einigen hundert Jahren? in einigen tausend Jahren?) sich die derzeitige Situation der oberflächennahen Zwischenlagerung, deren Sicherheit durch ein

aktiver Umgang mit der Abfälle und kontinuierliche Investitionen gewährleistet werden kann, in eine Situation verändert wird, in der der Schutz von Mensch und Umwelt nicht mehr gewährleistet ist.

[9] Der Ausschuss fordert die Entwicklung der multinationalen Variante, bei der sich mehrere Länder dieselbe Einrichtung im Ausland teilen würden. Das Ausmaß der Umweltauswirkungen ist in diesem Fall tatsächlich ein anderes. Mit dem Transport sind beispielsweise mehr Risiken verbunden. Darüber hinaus können die langfristigen Risiken der Konzentration radioaktiver Abfälle in Europa an einer begrenzten Anzahl von Orten unterschiedlich sein.

Die NERAS hat die Variante „multinationale geologische Endlagerung in Stollen“ (Kasten 2 im Abschnitt 3.1) beschrieben und ihr Überlegungen bezüglich der Umweltauswirkungen einer solchen Endlagerung beigefügt (Abschnitt 9.6).

Sie weist zudem darauf hin, dass die Tatsache, dass sich Belgien gegebenenfalls zu einer multinationalen Zusammenarbeit verpflichtet, die auf die Entwicklung einer von mehreren Ländern geteilten Endlagerungslösung abzielt, möglicherweise bedeutet, dass das künftige Endlager in Belgien errichtet wird. Da der Erfolg einer solchen Zusammenarbeit nicht sicher abzusehen ist, müsste Belgien zudem in jedem Fall sein nationales Endlagerungsprogramm weiterverfolgen, bis das gemeinsame Endlager in Betrieb genommen wird.

[10] Bei den abgelehnten Alternativen, die nicht im Detail diskutiert werden, sollte sowohl auf die gesetzlichen Grundlagen als auch auf Umwelt- oder Machbarkeitsüberlegungen Bezug genommen werden.

Die NERAS hat die Ablehnung der Alternativen, die nicht im Detail diskutiert werden, mit verschiedenen Arten von Gründen, vor allem gesetzlichen Überlegungen, der Feststellung, dass diese Alternativen nicht geeignet sind, langfristig den Schutz von Mensch und Umwelt zu gewährleisten, oder dass es nicht möglich ist, einen überzeugenden Nachweis für einen solchen Schutz zu erbringen, sowie Machbarkeitsüberlegungen gerechtfertigt (Kapitel 4).

Risiken für die nicht-nuklearen Aspekte

[11] In Tabelle 9 sollte einer Reihe von Risiken im Zusammenhang mit nicht-nuklearen Aspekten mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Der Bau einer unterirdischen [Endlager-]Anlage setzt eine bestimmte Menge an Zement voraus, was eine Zementherstellung vor Ort erfordert. Die Auswirkung einer solchen Anlage auf das Grundwasser darf nicht unterschätzt werden. Es ist daher vorzuziehen, dieses Risiko als „unbekannt“ statt als „irrelevant“ zu betrachten. Dies gilt auch für die „Veränderung der strukturellen Eigenschaften von Wasserläufen“.

Es ist in der Tat vorzuziehen in dieser Phase der Prüfung nicht die Auswirkungen „Veränderung des Grundwasserabflusses“, „Veränderung des Grundwasserspiegels oder des Grundwasseranstiegs“ und „Veränderung der strukturellen Eigenschaften von Wasserläufen“ für den Zeitraum vor dem Verschluss der Endlagerung zu behandeln. Diese drei Auswirkungen wurden daher von der Liste der Auswirkungen gestrichen, von denen die NERAS weiß oder praktisch sicher ist, dass sie nie geprüft werden müssen, deren Irrelevanz aber dennoch in späteren Phasen der stufenweisen Umweltverträglichkeitsprüfung überprüft werden soll (Abschnitt 6.1.1). Die NERAS hat die Liste der Auswirkungen, die in dieser Phase für die Zeiträume vor und nach dem Verschluss zu prüfen sind, um zwei weitere Auswirkungen ergänzt: die Auswirkungen „Veränderung des Untergrunds“ und die Auswirkungen „Veränderung der Untergrundtemperatur“.

Ergänzende Bemerkungen

[12] Es ist zu klären, wie Tabelle 11 „Scoping der Umweltauswirkungen des Plans auf kurze Sicht“ ausgefüllt wurde.

Die Tabelle „Scoping der Umweltauswirkungen des Plans auf kurze Sicht“ wurde so ausgefüllt, dass die NERAS es im Nachhinein für besser hält, sie teilweise zu ändern. Die vorgenommenen Änderungen ändern nichts am Endergebnis des Scopings auf kurze Sicht. Tatsächlich wurde das im Entwurf des Inhaltverzeichnis auf kurze Sicht durchgeführte Scoping nicht bis zur Endphase des In-/Out-Scopings durchgeführt: Anstatt eine Liste der in der SUP zu prüfenden Auswirkungen zu erstellen, zog die NERAS es vor, Familien von zu prüfenden Auswirkungen (auf Oberflächengewässer, auf das Grundwasser sowie auf den Boden) auszuwählen, zu denen einige weitere Auswirkungen hinzugefügt wurden.

Im Entwurf des Inhaltverzeichnis hat die NERAS die verschiedenen Umweltauswirkungen, die im Scoping auf kurze Sicht berücksichtigt wurden bzgl. der folgenden vier Aspekte unterteilt:

- Risiko, dass die Auswirkung tatsächlich eintritt;
- Ausmaß der Veränderungen, die eintreten werden;
- grenzüberschreitenden Charakter der Auswirkung auf die Umwelt;
- räumliche Ausdehnung der Auswirkung.

Sie vertrat die Auffassung, dass das „Risiko, dass die Auswirkung tatsächlich eintritt“ in der Mehrheit der Fälle gering ist, während es in den anderen Fälle mittel bis hoch ist. Diese Werte wurden nicht immer richtig abgeschätzt, da der Ausdruck „Risiko, dass die Auswirkung tatsächlich eintreten wird“ so verstanden wurde, dass er sich auf das mit den Auswirkungen verbundene Risiko und nicht auf die Eintrittswahrscheinlichkeit der Auswirkungen bezog.

Die Mehrzahl der in Tabelle 11 des Entwurf des Inhaltverzeichnis aufgeführten Auswirkungen sollte mit einer hohen bis sehr hohen Eintrittswahrscheinlichkeit eingestuft werden, während die übrigen Auswirkungen eine geringe bis mittlere Wahrscheinlichkeit haben. Diese Eintrittsrisiken werden durch die Tatsache relativiert, dass das Ausmaß der auftretenden Veränderungen als gering (unverändert gegenüber dem Entwurf des Inhaltverzeichnis) und die Expansionszone jeder Auswirkung als äußerst lokal (unverändert gegenüber dem Entwurf des Inhaltverzeichnis) betrachtet wird. Unter normalen Bau- und Betriebsbedingungen einer Endlagerungsstätte scheint keine der betrachteten Auswirkungen über die lokale Ebene hinaus zu gehen. In Anbetracht der Feststellung, dass es unmöglich ist, die grenzüberschreitenden Auswirkungen des Plans zu prüfen (Abschnitt 6.2), hat die NERAS auch die betrachteten Auswirkungen als nicht grenzüberschreitend eingestuft. Dies wird in späteren Phasen der stufenweisen Umweltverträglichkeitsprüfung geprüft werden.

[13] Für die Umweltverträglichkeitsprüfung des Plans wird die NERAS zwei Zeitbereiche in Betracht ziehen; sowohl der „kurzfristige“ als auch der „langfristige“ können etwas spezifischer beschrieben werden.

Die NERAS hat die beiden Zeitbereiche neu definiert, sodass sie den Zeiträumen vor bzw. nach dem Verschluss des Endlagers entsprechen (Abschnitt 6.1.2). Diese Änderung ist gleichzusetzen mit der Übertragung der Aktivitäten des vollständigen Verschlusses der geologischen Endlagerung und des teilweisen oder vollständigen Abbruchs der Oberflächenanlagen vom zweiten auf den ersten Zeitraum. Sie hat daher den Vorteil, dass sie den Zeitraum vor dem Verschluss mit dem Zeitraum, in der menschliche Aktivitäten erforderlich sind, und den Zeitraum nach dem Verschluss mit dem passiven Zeitraum des Endlagerungssystems in Einklang bringt.

Diese Neudefinition hat nur einen marginalen Einfluss auf das Ergebnis des Scoping-Verfahrens: Sie führt dazu, dass die Umweltauswirkungen der vollständigen Stilllegung des Endlagers in den Prüfungen bezüglich des Zeitraums vor dem Verschluss

berücksichtigt werden. Die Position, dass die Umweltauswirkungen der Wiederherstellung des Standorts in einen weniger oder nicht bebauten Zustand nach vollständiger Stilllegung der Endlagerung in späteren Phasen der nationalen Politikgestaltung geprüft werden, wird beibehalten.

Auf der anderen Seite könnte die „kurzfristige“ Dauer (der Zeitraum, der im Entwurf des Inhaltverzeichnisses als mit dem Verschluss der Endlagerungsbereiche endend beschrieben wird) in der Größenordnung von hundert Jahren geschätzt werden, während die Dauer des Zeitraums vor dem Verschluss schwieriger zu schätzen ist, da sie davon abhängt, welche Entscheidungen künftige Generationen bzgl. des Verschlusses des Endlagers treffen werden.

[14] Der Wortlaut des letzten Absatzes von Abschnitt 5.2.4 der französischen Fassung sollte verbessert werden.

Dieser Absatz über die Umweltverträglichkeitsprüfung und die Kombinationen von Entsorgungsoptionen erscheint nicht mehr.

[15] Es besteht eine Inkohärenz zwischen den Tabellen 9 und 11 bezüglich der Elemente „Veränderung des Grundwasserabflusses“ und „Veränderung des Grundwassers“ (ob relevant oder irrelevant für die SUP).

Die festgestellte Inkohärenz liegt im Niederländischen vor und resultiert aus einem Übersetzungsfehler aus dem französischen Original. In Tabelle 11 der niederländischen Fassung hätte die Auswirkung «*Aanrijking grondwater*» anstelle der Auswirkung «*Wijziging grondwaterstromingen*» auftauchen müssen.

Referenzen

- [Antarktis-Vertrag 1959] Antarktis-Vertrag, 1. Dezember 1959
- [ASN 2016] Autorité de sûreté nucléaire, Avis n° 2016-AV- 0259 de l’Autorité de sûreté nucléaire du 25 février 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l’élaboration du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs 2016-2018
- [Belgien 1980] Loi du 8 août 1980 relative aux propositions budgétaires 1979-1080, Moniteur belge du 15 août 1980
- [Belgien 1981] Arrêté royal du 30 mars 1981 déterminant les missions et fixant les modalités de fonctionnement de l’organisme public de gestion des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies, Moniteur belge du 5 mai 1981
- [Belgien 2001] Arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l’environnement contre le danger des rayonnements ionisants, Moniteur belge du 30 août 2001
- [Belgien 2002] Loi du 2 août 2002 portant assentiment à la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, faite à Vienne le 5 septembre 1997, Moniteur belge du 25 décembre 2002
- [Belgien 2003] Loi du 31 janvier 2003 sur la sortie progressive de l’énergie nucléaire à des fins de production industrielle d’électricité, Moniteur belge du 28 février 2003
- [Belgien 2006] Loi du 13 février 2006 relative à l’évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l’environnement et à la participation du public dans l’élaboration des plans et des programmes relatifs à l’environnement, Moniteur belge du 10 mars 2006
- [Belgien 2014] Loi du 3 juin 2014 modifiant l’article 179 de la loi du 8 août 1980 relative aux propositions budgétaires 1979-1980 en vue de la transposition dans le droit interne de la Directive 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs, Moniteur belge du 27 juin 2014
- [Belgien 2018] Royaume de Belgique, Rapport national relatif à la mise en œuvre de la directive 2011/70/Euratom du Conseil établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs, Deuxième édition, août 2018
- [Belgien 2019] Loi du 10 mars 2019 portant assentiment à l’Accord entre le Royaume de Belgique et le Grand-Duché de Luxembourg relatif à la gestion et au stockage définitif des déchets radioactifs du Grand-Duché de Luxembourg sur le territoire du Royaume de Belgique, fait à Luxembourg le 4 juillet 2016, Moniteur belge du 29 mars 2019
- [Blue Ribbon Commission 2012] Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future, Report to the Secretary of Energy, January 2012
- [Bracke 2017] Bracke, G., Charlier, F., Liebscher, A., Schilling, F.R. and Röckel Th., About the Possibility of Disposal of HLRW in Deep Boreholes in Germany, Geosciences 2017, 7, 58, 18 July 2017
- [CEA 2015] Commissariat à l’énergie atomique et aux énergies alternatives, Avancées des recherches sur la séparation-transmutation et le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs à flux de neutrons rapides, Décret n° 2013-1304 du 27 décembre 2013 pris pour application de l’article L. 542-1-2 du code de l’environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, juin 2015

- [Chapman 2019] Chapman, N.A., Who Might Be Interested in a Deep Borehole Disposal Facility for Their Radioactive Waste?, *Energies* 2019, 12, 1542, 24 April 2019
- [CNE 2019] Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs instituée par la Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006, Rapport d'évaluation N°13, Juin 2019
- [CoRWM 2018] Committee on Radioactive Waste Management, Position Paper: Why Geological Disposal?, CoRWM doc. 3521, 17 November 2018
- [CoRWM 2019] Committee on Radioactive Waste Management, Position Paper: Deep Borehole Disposal, CoRWM doc. 3574, 4 July 2019
- [Europäische Kommission 1979] Commission européenne, Catalogue européen des formations géologiques présentant des caractéristiques favorables à l'évacuation des déchets radioactifs solidifiés de haute activité et/ou de longue vie. 2 — Belgique, Etat au 01.01.1978, Tome réalisé par le SCK•CEN et le Service géologique de Belgique, septembre 1979
- [Europäische Kommission 2019] Commission européenne, Rapport au Conseil et au Parlement européen sur l'avancement de la mise en œuvre de la directive 2011/70/EURATOM du Conseil, un inventaire des déchets radioactifs et du combustible usé présents sur le territoire de la Communauté et les perspectives futures, Deuxième rapport, COM(2019) 632 final, Bruxelles, 17 décembre 2019
- [FANK 2010] Agence fédérale de Contrôle nucléaire, Avis de l'AFCN sur les documents de l'ONDRAF : Projet de Plan Déchets (PPD) et Evaluation des Incidences sur l'Environnement (EIE), note 010-149-F, traduction du 2 février 2011
- [FANK 2014] Agence fédérale de Contrôle nucléaire, Lettre de l'AFCN à l'ONDRAF, Note de positionnement de l'AFCN relative au stockage géologique et à la gestion à long terme des déchets B&C dans le cadre de l'établissement des politiques nationales et du programme national, réf. 2014-12-09-FB-5-1-2-FR, 9 décembre 2014, et son annexe
- [FANK 2015] Agence fédérale de Contrôle nucléaire, Avis de l'AFCN sur le Programme National du 10 avril 2015, réf. 2015-04-29-AW-5-4-1-FR, 7 mai 2015
- [FANK 2019] Agence fédérale de Contrôle nucléaire, Surveillance radiologique de la Belgique — Rapport de synthèse 2018, octobre 2019
- [FÖD Volksgesundheit 2007a] SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement, Document d'orientation pour l'évaluation des incidences environnementales de certains plans et programmes au niveau fédéral — Document explicatif du screening, juillet 2007
- [FÖD Volksgesundheit 2007b] SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement, Document d'orientation pour l'évaluation des incidences environnementales de certains plans et programmes au niveau fédéral — Document de screening, juillet 2007
- [FÖD Volksgesundheit 2007c] SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement, Document d'orientation pour l'évaluation des incidences environnementales de certains plans et programmes au niveau fédéral — Document explicatif du scoping, juillet 2007
- [FÖD Volksgesundheit 2007d] SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement, Document d'orientation pour l'évaluation des incidences environnementales de certains plans et programmes au niveau fédéral — Document de scoping, juillet 2007
- [FÖD Wirtschaft 2016a] SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie, Etude comparative de stratégies de gestion du combustible nucléaire belge (Volume 2 + erratum), 29 janvier 2016

- [FÖD Wirtschaft 2016b] SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie, Arrêté ministériel du 3 octobre 2016 portant fixation du premier Programme National de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs, Moniteur belge du 15 juin 2017
- [Freeze *et al.* 2019] Freeze, G.A., Stein, E., Brady, P.V., Post-Closure Performance Assessment for Deep Borehole Disposal of Cs/Sr Capsules, *Energies* 2019, 12(10), 1980, 23 May 2019
- [Geologica Belgica 2001] Geologica Belgica, number 1-2 — Lithostratigraphic scale of Belgium, volume 4 (2001)
- [Großherzogtum Luxemburg 2018] Loi du 6 juin 2018 portant approbation de l'Accord entre le Grand-Duché de Luxembourg et le Royaume de Belgique relatif à la gestion et au stockage définitif des déchets radioactifs du Grand-Duché de Luxembourg sur le territoire du Royaume de Belgique, fait à Gäichel, le 4 juillet 2016, Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg, N° 478 du 12 juin 2018
- [IAEO 1994] International Atomic Energy Agency, Classification of Radioactive Waste — A Safety Guide, Safety Series No. 111-G-1.1, Vienna, May 1994
- [IAEO 1997] Agence internationale de l'Energie atomique, Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, INFCIRC/546, Décembre 1997
- [IAEO 2003] International Atomic Energy Agency, The Long Term Storage of Radioactive Waste: Safety and Sustainability — A Position Paper of International Experts, IAEA, Vienna, June 2003
- [IAEO 2009] International Atomic Energy Agency, Classification of Radioactive Waste, General Safety Guide No. GSG-1, Vienna, November 2009
- [IAEO 2011a] International Atomic Energy Agency, Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-14, Vienna, September 2011
- [IAEO 2011b] Agence internationale de l'Energie atomique, Stockage définitif des déchets radioactifs, Prescriptions de sûreté particulières, Normes de sûreté de l'AIEA, No. SSR-5, Vienne, octobre 2011
- [IRSN 2019a] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Panorama international des recherches sur les alternatives au stockage géologique des déchets de haute et moyenne activité à vie longue — Rapport établi en réponse à une saisine de la Commission nationale du débat public, rapport IRSN/2019-00318, mai 2019
- [IRSN 2019b] Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Débat Public — Projet Cigéo, Thème 1 — La place de Cigéo dans le dispositif de gestion des déchets, La séparation/transmutation des déchets à vie longue, FS 1-4
- [Londoner Konvention 1972] Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen und anderen Stoffen, 29. Dezember 1972
- [Marghem & Peeters 2018] Lettre de la tutelle de l'ONDRAF à l'ONDRAF, Politique nationale pour la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de longue durée de vie, réf. MCM/KP-AJ/EP-MaP/SV 9621, 28 novembre 2018
- [Ministerrat 1998] Conseil des ministres, Séance du 16 janvier 1998, Gestion à long terme des déchets radioactifs de faible activité. 98A40450.039
- [Ministerrat 2006] Ministerraad, Vergadering van 23 juni 2006, Berging van radioactief afval (categorie A). 2006A42450.020
- [Muller *et al.* 2019] Muller, R.A., Finsterle, S., Grimsich, J., Baltzer, R., Muller, E.A., Rector, J.W., Payer, J. and Apps, J., Disposal of High-Level Nuclear Waste in Deep Horizontal Drillholes, *Energies* 2019, 12(11), 2052, 29 May 2019

- [NEA 1995] Nuclear Energy Agency, The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal — A Collective Opinion of the NEA Radioactive Waste Management Committee, OECD 1995
- [NEA 2003] Nuclear Energy Agency, SAFIR 2 — Belgian R&D Programme on the Deep Disposal of High-level and Long-lived Radioactive Waste: An International Peer Review, OECD, 2003
- [NEA 2008] Nuclear Energy Agency, Moving Forward with Geological Disposal of Radioactive Waste — A Collective Statement by the NEA Radioactive Waste Management Committee (RWMC), NEA No. 6433, OECD 2008
- [NEA 2011] Nuclear Energy Agency, Potential Benefits and Impacts of Advanced Nuclear Fuel Cycles with Actinide Partitioning and Transmutation, NEA No. 6894, OECD 2011
- [NEA 2012] Agence pour l'énergie nucléaire, Vers un cycle du combustible nucléaire durable — Evolution et tendances, AEN n° 6981, OCDE 2012
- [NERAS 1989] NIRAS, SAFIR — Safety Assessment and Feasibility Interim Report, 22 mei 1989
- [NERAS 2001a] ONDRAF/NIRAS, SAFIR 2 — Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2, report NIROND 2001-06 E, December 2001
- [NERAS 2001b] ONDRAF, Aperçu technique du rapport SAFIR 2 — Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2, rapport NIROND 2001-05 F, décembre 2001
- [NERAS 2010] ONDRAF, Le projet cAt à Dessel — Une solution à long terme pour les déchets de catégorie A belges, rapport NIROND 2010-02 F, mars 2010
- [NERAS 2011a] ONDRAF, Plan Déchets pour la gestion à long terme des déchets radioactifs conditionnés de haute activité et/ou de longue durée de vie et aperçu de questions connexes, rapport NIROND 2011-02 F, septembre 2011
- [NERAS 2011b] NERAS, Erklärung zum Abfallwirtschaftsplan in Anwendung des Gesetzes vom 13. Februar 2006 – Abfallwirtschaftsplan zur Langzeitverwaltung von konditioniertem hochaktivem und/oder langlebigem Abfall und Überblick der damit verbundenen Fragen, Belgisches Staatsblatt, 30. September 2011
- [NERAS 2011c] NERAS, Zusammenfassung des Abfallwirtschaftsplans zur Langzeitverwaltung von konditioniertem hochaktivem und/oder langlebigem Abfall und Überblick der damit verbundenen Fragen, Belgisches Staatsblatt, 30. September 2011
- [NERAS 2013] ONDRAF/NIRAS, ONDRAF/NIRAS Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the geological disposal of high-level and/or long-lived radioactive waste including irradiated fuel if considered as waste — State-of-the-art report as of December 2012, report NIROND-TR 2013-12 E, December 2013
- [NERAS 2017] Lettres de l'ONDRAF à sa tutelle, Politique nationale pour la gestion à long terme des déchets radioactifs des catégories B & C, réf. JPM/MDE/2017-0354, 15 mars 2017 // Brieven van NIRAS aan haar voogdij, Nationaal beleid voor het langetermijnbeheer van het radioactieve afval van de categorieën B en C, ref. JPM/MDE/2017-0628, 15 maart 2017
- [NERAS 2018a] Lettres de l'ONDRAF à sa tutelle, Proposition de politique nationale de gestion à long terme des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie, réf. MDE/PHL/AV/2018-1685, 25 juin 2018, et annexe 3. « Avant-projet d'arrêté royal établissant le processus d'adoption de la politique nationale relative à la gestion à long terme des déchets radioactifs conditionnés de haute activité et/ou de longue durée de vie et définissant la solution de gestion à long terme de ces déchets » // Brieven van NIRAS aan haar voogdij, Voorstel van nationaal beleid voor het langetermijnbeheer van hoogactief en/of langlevend afval, ref. MDE/PHL/AV/2018-1686, 25 juni 2018, en bijlage 3. "Voorontwerp van koninklijk besluit tot vaststelling van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het

- langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval”
- [NERAS 2018b] ONDRAF/NIRAS, Evaluation of the overnight cost of geological disposal of category B&C waste — Costing 2018, report NIROND-TR 2017-31 E V1, June 2018
- [NERAS 2019a] NIRAS, Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval in Dessel, rapport NIROND-TR 2011-01, Versie 3, januari 2019
- [NERAS 2019b] ONDRAF/NIRAS, Deep borehole disposal concept of high-level and/or long-lived waste: Technology watch – Status 2019, report NIROND-TR 2019-03 E, February 2019
- [NERAS 2019c] ONDRAF, Présentation de l’inventaire technique des déchets radioactifs 2018, note 2019-0662, 22 mars 2019
- [NERAS 2019d] ONDRAF/NIRAS, Monitoring international developments regarding shared geological repositories for high-level and/or long-lived waste: status as of March 2019, report NIROND-TR 2019-07 E, June 2019
- [NERAS 2019e] Lettre de l’ONDRAF à la Présidente de la Commission particulière en charge du débat PNGMDR, Commission nationale du débat public (CPDP) — France, Contribution de l’ONDRAF au débat public relatif au PNGMDR et, en particulier, à la gestion à long terme des déchets de haute activité à vie longue, réf. PHL/micu/2019-1975, 2 septembre 2019
- [NNL 2013] National Nuclear Laboratory, Minor Actinide Transmutation — Position Paper
- [Olsthoorn 2011] Olsthoorn, T.N., Geologische Berging Van Radioactief Afval in België: Mogelijke Gevolgen voor Nederland, Rapport opgesteld in opdracht van Provincie Noord-Brabant, Technische Universiteit Delft, 20 september 2011
- [OSPAR-Übereinkommen 1992] Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks, 22. September 1992
- [Peeters & Marghem 2016] Brief van de voogdij van NIRAS aan NIRAS, Nationaal beleid voor het langetermijnbeheer van het radioactieve afval van de categorieën B en C, ref. IND/10/KP/FL/2016/7/010, 7 november 2016
- [Rat der Europäischen Union 2011] Richtlinie 2011/70/Euratom des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, Amtsblatt L 199/48, 2. August 2011
- [Rat der Europäischen Union 2013] Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom, Amtsblatt L 13/1, 17. Januar 2014
- [Resource Analysis 2010] Resource Analysis, Strategische Umweltprüfung (SUP) über den Abfallwirtschaftsplan der NERAS – Hauptbericht, Juni 2010
- [RWM 2016a] Radioactive Waste Management, Geological Disposal — Generic Disposal Facility Design, NDA Report no. DSSC/412/01, December 2016
- [RWM 2016b] Radioactive Waste Management, Geological Disposal — Technical Background to the generic Disposal System Safety Case, NDA Report no. DSSC/421/01, December 2016
- [SGDN 2013] Société de gestion des déchets nucléaires, Rapport de suivi des progrès en matière de retraitement, de séparation et de transmutation, Mise à jour 2013
- [SGDN 2019] Société de gestion des déchets nucléaires, Mise en œuvre de la Gestion adaptative progressive 2019 à 2023, mars 2019

- [SKB 2011] SKB, Environmental Impact Statement — Interim Storage, encapsulation and final disposal of spent nuclear fuel, March 2011
- [Sowder *et al.* 2016] Sowder, A., McCullum, R., Kindfuller, V., Why Demonstration of a Deep Borehole Disposal Concept Matters to the Nuclear Industry, Proceedings of the 15th International High-Level Radioactive Waste Management (IHLRWM) Conference, Charleston, SC, 12-16 April 2015
- [SUP-Ausschuss 2019] Adviescomité SEA, Advies over het ontwerpregister strategische milieubeoordeling van een voorontwerp van KB tot vaststelling van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval, 21 november 2019
- [Vandenberghe & Laga 1996] Vandenberghe, N. & Laga, P., De aarde als fundament, Een inleiding tot de geologie voor ingenieurs, Leuven, Acco, 1996
- [Weltraumvertrag 1967] Vertrag über die Grundsätze zur Regelung der Tätigkeiten von Staaten bei der Erforschung und Nutzung des Weltraums einschließlich des Mondes und anderer Himmelskörper, 27. Januar 1967
- [Wouters & Vandenberghe 1994] Wouters, L. & Vandenberghe, N., Géologie de la Campine — Essai de synthèse, publication ONDRAF NIROND-94-12, octobre 1994