

# ***STRATEGISCHE UMWELTPRÜFUNG (SUP) FÜR DEN ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN DER NERAS***

## ***NICHT-TECHNISCHE ZUSAMMENFASSUNG***

Auftraggeber: NERAS  
Dokumentennr.: 5249-507-083  
Version: 02  
Datum: 3/06/2010

INFORMATION ÜBER DAS DOKUMENT

<b>Titel</b>	Strategische Umweltprüfung (SUP) für den Abfallwirtschaftsplan der NERAS
<b>Untertitel</b>	Nicht-technische Zusammenfassung
<b>Kurztitel</b>	SUP Abfallwirtschaftsplan NERAS - nicht-technische Zusammenfassung
<b>Auftraggeber</b>	NERAS
<b>Dokumentnummer</b>	5249-507-083

WERDEGANG DES DOKUMENTS (OBERSTE ZEILE IST DIE AKTUELLE FASSUNG)

Version	Datum	Anmerkungen
02	3/06/2010	Endgültige version
01	31/05/2010	

VERANTWORTLICH FÜR DAS DOKUMENT

<b>Autor(en)</b>	Elisabeth Kuijken	<b>Datum</b> 3/06/2010
<b>Kontrolle des Dokuments</b>	Koen Couderé	<b>Datum</b> 3/06/2010

INFORMATION ZUR DATEI

<b>Dateiname</b>	C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\EKUMY DOCUMENTS\PROJECTEN\80-5249 SEA AFVALPLAN NIRAS\507 - NIET-TECHNISCHE SAMENVATTING\VERTALINGEN\DUITS\5249-507-083-03 SUP ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN - NICHT-TECHNISCHE ZUSAMMENFASSUNG.DOCX
<b>Erstellungsdatum</b>	03/06/2010
<b>Zuletzt abgespeichert am</b>	03/06/2010
<b>Gedruckt am</b>	03/06/2010

## **INHALT**

<b>0</b>	<b>Vorwort</b> .....	<b>v</b>
<b>1.</b>	<b>Die SUP und der Abfallwirtschaftsplan</b> .....	<b>1</b>
1.1	Wer ist die NERAS? .....	1
1.2	Um welchen radioaktiven Abfall geht es?.....	1
1.3	Was ist der Abfallwirtschaftsplan? .....	2
1.4	Warum eine SUP für den Abfallwirtschaftsplan? .....	2
1.5	Welche Mitsprachemöglichkeiten bestehen? .....	3
<b>2.</b>	<b>Methodologie</b> .....	<b>4</b>
2.1	Prüfungsrahmen.....	4
2.2	Der Prozess: gestaffelter Ansatz.....	6
2.3	Die Vorgehensweise .....	7
2.3.1	Radiologische Auswirkungen .....	7
2.3.2	Keine räumliche Abgrenzung .....	7
2.3.3	Robustheit .....	8
2.3.4	Eine qualitative Beurteilung unterstützt durch eine breite internationale Wissensbasis .....	9
<b>3.</b>	<b>Verwaltungsoptionen</b> .....	<b>10</b>
3.1	Verwaltungsoptionen mit endgültigem Charakter .....	10
3.1.1	Aktive Verwaltung.....	10
3.1.2	Passive Verwaltung .....	10
3.1.2.1	Geologische Endlagerung.....	10
3.1.2.2	Endlagerung in Tiefbohrungen .....	12
3.2	Nicht-definitive Verwaltungsoptionen .....	14
3.2.1	Langfristige Lagerung in Erwartung einer Entscheidung über eine Verwaltungsoption mit endgültigem Charakter .....	14
3.2.2	Lagerung in Erwartung der industriellen Anwendung von nuklearen Spitzentechnologien .....	14
3.3	Status-quo-Option .....	15
<b>4.</b>	<b>Beschreibung und Beurteilung der Auswirkungen</b> .....	<b>17</b>
4.1	Auswirkungen auf die Natur.....	17
4.1.1	Physische Auswirkungen .....	17
4.1.2	Radiologische Auswirkungen .....	18
4.1.3	Auswirkungen toxischer chemischer Komponenten.....	18
4.2	Auswirkungen auf Landschaft, architektonisches Erbe und Archäologie.....	19
4.3	Auswirkungen auf Rohstoffe.....	19

4.3.1	Boden.....	19
4.3.2	Wasser.....	20
4.4	Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit .....	21
4.4.1	Luft.....	21
4.4.2	Lärm.....	22
4.4.3	Radiologische Auswirkungen .....	22
4.4.4	Integration der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit .....	23
4.5	Gesellschaftliche Aspekte.....	24
4.6	Finanziell-ökonomische Aspekte.....	25
4.7	Ethische Aspekte .....	26
4.8	Sicherheit und Sicherungsmaßnahmen (Safeguards) .....	27
<b>5.</b>	<b>Robustheit der Verwaltungsoptionen .....</b>	<b>29</b>
5.1	Robustheit gegenüber natürlichen Entwicklungen.....	29
5.2	Robustheit gegenüber Veränderungen in der intrinsischen physischen und technischen Stabilität .....	30
5.3	Robustheit gegenüber externen nicht-natürlichen Ereignissen .....	32
5.4	Gesellschaftliche Robustheit .....	32
<b>6.</b>	<b>Beschluss.....</b>	<b>34</b>

## **LISTE DER ABBILDUNGEN**

Abbildung 1:	Schematische Einteilung des konditionierten radioaktiven Abfalls .....	1
Abbildung 2:	Die vier Dimensionen der Langzeitverwaltung von radioaktivem Abfall .....	2
Abbildung 3:	Zielsetzung, Aspekte und Teilaspekte für die Kurzfristperiode .....	5
Abbildung 4:	Zielsetzung, Aspekte und Teilaspekte für die Langfristperiode .....	6
Abbildung 5:	Gestaffelter Ansatz für die Beurteilung der Umweltauswirkungen einer Langzeitverwaltungsoption von Abfall der Kategorien B und C .....	7
Abbildung 6:	Referenz-Endlagerarchitektur zur geologischen Endlagerung .....	11
Abbildung 7:	Konzept zur Endlagerung in Tiefbohrungen .....	13
Abbildung 8:	Gebäude B136 für die Lagerung von Abfall der Kategorien B und C .....	16



## 0 **VORWORT**

Dieses Papier ist die nicht-technische Zusammenfassung der Strategische Umweltprüfung (SUP) für den Abfallwirtschaftsplan der NERAS, mit der ein Vorschlag zur Langzeitverwaltung von hochaktivem und/oder langlebigem Abfall in Belgien unterbreitet wird.

Gemäß dem Gesetz vom 13. Februar 2006 muss der Abfallwirtschaftsplan Gegenstand eines Umweltberichtes sein. Die SUP beinhaltet die Beschreibung und Einschätzung der Auswirkungen des Abfallwirtschaftsplans auf die Umgebung im weitesten Sinn des Wortes und ist also eine Antwort auf diese Verpflichtung.

### **Hinweis zur Lektüre**

**Kapitel 1** beschreibt die Zielsetzungen des Abfallwirtschaftsplans und gibt Angaben zum radioaktiven Abfall, auf den der Plan sich bezieht. Es beschreibt weshalb die SUP angestellt wird und welches das Verfahren ist.

Die Langzeitverwaltung von radioaktivem Abfall ist ein atypisches Thema im Umweltbericht. In **Kapitel 2** werden die sich daraus ergebenden Besonderheiten erörtert.

**Kapitel 3** umfasst die Beschreibung der verschiedenen möglichen Verwaltungsoptionen für hochaktiven und/oder langlebigen radioaktiven Abfall.

**Kapitel 4** enthält die Beschreibung und Beurteilung der Auswirkungen der verschiedenen Verwaltungsoptionen. Es handelt sich um Auswirkungen auf die Umwelt gemäß dem Gesetz vom 13. Februar 2006, doch ebenfalls um gesellschaftliche, wirtschaftliche und ethische Aspekte sowie um den Aspekt Sicherungsmassnahmen und Safeguards.

**Kapitel 5** umfasst die Beurteilung der Robustheit der Verwaltungsoptionen, d.h. ihre Beständigkeit gegen allerlei kurz- und langfristiger Veränderungen.

Schließlich werden in **Kapitel 6** Schlussfolgerungen aus der SUP gezogen.

Für weitere Information verweisen wir auf die **SUP**.

Die SUP stützt sich auf eine sehr umfassende nationale und internationale Wissensbasis. Ein ausführliches **Literaturverzeichnis** findet man in der **SUP**.

### **Anmerkung**

Die ursprüngliche Fassung der SUP und der nicht-technischen Zusammenfassung wurde in Niederländisch erstellt. Diese Dokumente ist in Niederländisch, Französisch und Deutsch verfügbar.



# 1. DIE SUP UND DER ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN

## 1.1 Wer ist die NERAS?

Die NERAS ist die Nationale Einrichtung für radioaktiven Abfall und angereicherte Spaltprodukte. Diese Organisation ist unter anderem zuständig für die Langzeitverwaltung von radioaktivem Abfall. Die NERAS ist auch der Initiator des Abfallwirtschaftsplans.

## 1.2 Um welchen radioaktiven Abfall geht es?

Radioaktiver Abfall stammt aus diversen Sektoren, u.a. aus Kernkraftwerken, Unternehmen zur Herstellung von Kernbrennstoff, Anlagen zur Verarbeitung und Konditionierung von radioaktivem Abfall, Forschungseinrichtungen und Krankenhäusern. Der konditionierte radioaktive Abfall ist der Abfall, dessen Volumen (wenn möglich) verringert wurde und der in z.B. Zement, Glas oder Bitumen immobilisiert ist. In diesem konditionierten Abfall unterscheidet man zwischen den Kategorien A, B und C (siehe Abbildung unten). Die Einteilung erfolgt nach Aktivität und Halbwertszeit. Die Aktivität ist mit dem Risiko auf Gesundheitsschaden durch radioaktive Strahlung verbunden. Die Halbwertszeit eines Radionuklids ist die Zeit, in der die Hälfte der vorhandenen radioaktiven Kerne zerfallen ist, und sagt etwas über die Länge des Zeitraums aus, während dessen der Abfall noch eine Gefahr für Mensch und Umwelt bedeuten kann. Abfall der Kategorie C gibt außerdem Wärme ab.

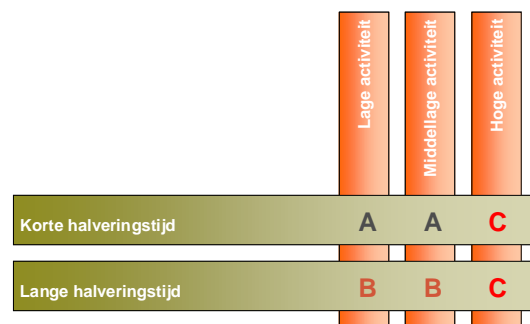


Abbildung 1: Schematische Einteilung des konditionierten radioaktiven Abfalls

Die Menge an hoch radioaktivem und/oder langlebigem Abfall hängt von einigen Faktoren ab (siehe Kapitel 2 der SUP).

- Wird die Wiederaufbereitung von abgebranntem Kernbrennstoff wiederaufgenommen? Derzeit ist in Belgien ein Moratorium hinsichtlich der Wiederaufbereitung von abgebranntem Kernbrennstoff in Kraft. Bei einer Wiederaufnahme der Wiederaufbereitung wird das Gesamtvolumen geschätzt auf: 11.100 m<sup>3</sup> für Abfall der Kategorie B und auf 600 m<sup>3</sup> für Abfall der Kategorie C. Ohne Wiederaufbereitung wäre es 10.430 m<sup>3</sup> für Abfall der Kategorie B und 4.500 m<sup>3</sup> für Abfall der Kategorie C.
- Auch die eventuelle Verlängerung der Lebensdauer der drei ältesten Kernkraftwerke (Doel 1 und 2 sowie Tihange 1) beeinflusst das Volumen von Abfall der Kategorien B und C.
- Das Volumen des Abfalls der Kategorie B kann sich ändern durch die Übernahme des UMTRAP-Abfalls von Umicore durch die NERAS.

- Die Abnahmekriterien zur Endlagerung von Abfall der Kategorie A in Dessel können dazu führen, dass eine bestimmte Menge Abfall verschoben wird von Kategorie A zu Kategorie B (oder umgekehrt).

### 1.3 Was ist der Abfallwirtschaftsplan?

In Belgien befindet sich die Langzeitverwaltung von hochaktivem und/oder langlebigem Abfall (d.h. Abfall der Kategorien B und C) zurzeit noch im Stadium weit fortgeschrittener Forschung und Entwicklung; die Regierung hat zur Durchführung der Langzeitverwaltung noch keine Entscheidung getroffen. Bis dahin wird der fragliche Abfall vorläufig sicher gelagert.

Die Erstellung eines Abfallwirtschaftsplans ist einer der Aufträge, die der NERAS erteilt wurden. Der Abfallwirtschaftsplan der NERAS führt nun alle notwendigen Elemente zusammen, sodass die föderale Regierung mit Sachkenntnis eine allgemeine strategische Entscheidung, oder mit anderen Worten eine Grundsatzentscheidung über die Langzeitverwaltung von hochaktivem und/oder langlebigem Abfall treffen kann. Dazu gehören auch der abgebrannte Kernbrennstoff der Kernkraftwerke, die überschüssigen Mengen an angereichertem Spaltstoff und die plutoniumhaltigen Stoffe, die als Abfall gemeldet werden (oder werden könnten).

Der Abfallwirtschaftsplan richtet sich also auf die Langzeitverwaltung von Abfall der Kategorien B und C. Er bezieht sich nur auf den bestehenden Abfall oder den Abfall, dessen Produktion geplant ist, vor allem im Rahmen des heutigen Kernprogramms und dessen eventueller Verlängerung.

Für die Verwaltung von radioaktivem Abfall handhabt die NERAS international akzeptierte Prinzipien, wie die Grundsätze bzgl. nachhaltiger Entwicklung in der Rio-Deklaration, die Grundsätze der Verwaltung von radioaktivem Abfall der Internationalen Atomenergieorganisation (International Atomic Energy Agency, IAEA) und die Grundsätze des Strahlenschutzes der Internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection, ICRP). Aufgrund dieser Grundsätze evaluiert die NERAS die erwogenen Verwaltungsoptionen in dem Abfallwirtschaftsplan und in der SUP auf der Grundlage von vier Dimensionen.

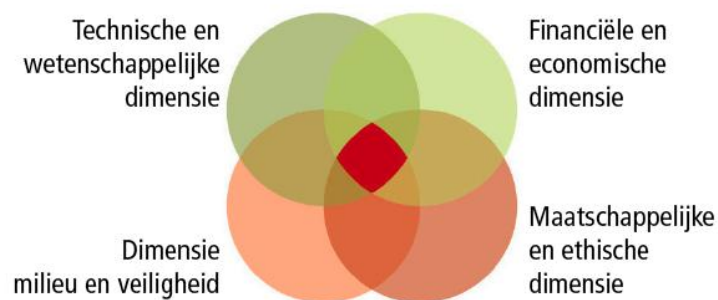


Abbildung 2: Die vier Dimensionen der Langzeitverwaltung von radioaktivem Abfall

### 1.4 Warum eine SUP für den Abfallwirtschaftsplan?

Die Umweltprüfung zu Plänen und Programmen auf föderalem Niveau wird durch das Gesetz vom 13. Februar 2006 bestimmt. In diesem Gesetz wird angeführt, dass eine Umweltprüfung mit Mitspracherecht der Öffentlichkeit für „das allgemeine Programm für die

*Langzeitverwaltung des radioaktiven Abfalls, vorgesehen in Artikel 2, § 3, des Königlichen Erlasses vom 30. März 1981 über die Festlegung der Aufträge und der Arbeitsmodalitäten der Nationalen Einrichtung für radioaktiven Abfall und Spaltprodukte, wie geändert*“ (Artikel 6, § 1, Punkt 1) erforderlich ist.

Der Abfallwirtschaftsplan der NERAS ist das allgemeine Programm für die Langzeitverwaltung von radioaktivem Abfall und fällt daher unter die Pflicht zur Umweltprüfung für Pläne und Programme. Diese Umweltprüfung wird hier mit dem Begriff „Strategische Umweltprüfung“ oder SUP bezeichnet.

Das vorliegende Dokument enthält eine nicht-technische Zusammenfassung der SUP für die breite Öffentlichkeit.

## **1.5 Welche Mitsprachemöglichkeiten bestehen?**

Während der Vorbereitungsphase, vor dem gesetzlichen Verfahren, organisierte die NERAS eine öffentliche Konsultation. Die Erkenntnisse wurden bei der Erstellung des Entwurfs des Abfallwirtschaftsplans oder Planentwurfs berücksichtigt. Parallel wurde der Registerentwurf erstellt; das ist ein vorbereitendes Dokument, in dem die Reichweite und das Detailniveau der SUP festgelegt werden. Der Registerentwurf wurde dem Beratungsausschuss zur Stellungnahme vorgelegt. Die erhaltenen Stellungnahmen wurden in die SUP integriert.

Der Planentwurf und die SUP werden ab dem 7. Juni 2010 Gegenstand einer offiziellen Konsultation sein, wie vorgesehen im Gesetz vom 13. Februar 2006. Dabei wird die NERAS die Bevölkerung im Allgemeinen, den Beratungsausschuss, den Föderalen Rat für Nachhaltige Entwicklung, die Regionalregierungen und alle anderen Instanzen, die die NERAS für relevant hält (insbesondere die Föderale Nuklearkontrollbehörde, FNKB), um Stellungnahmen ersuchen.

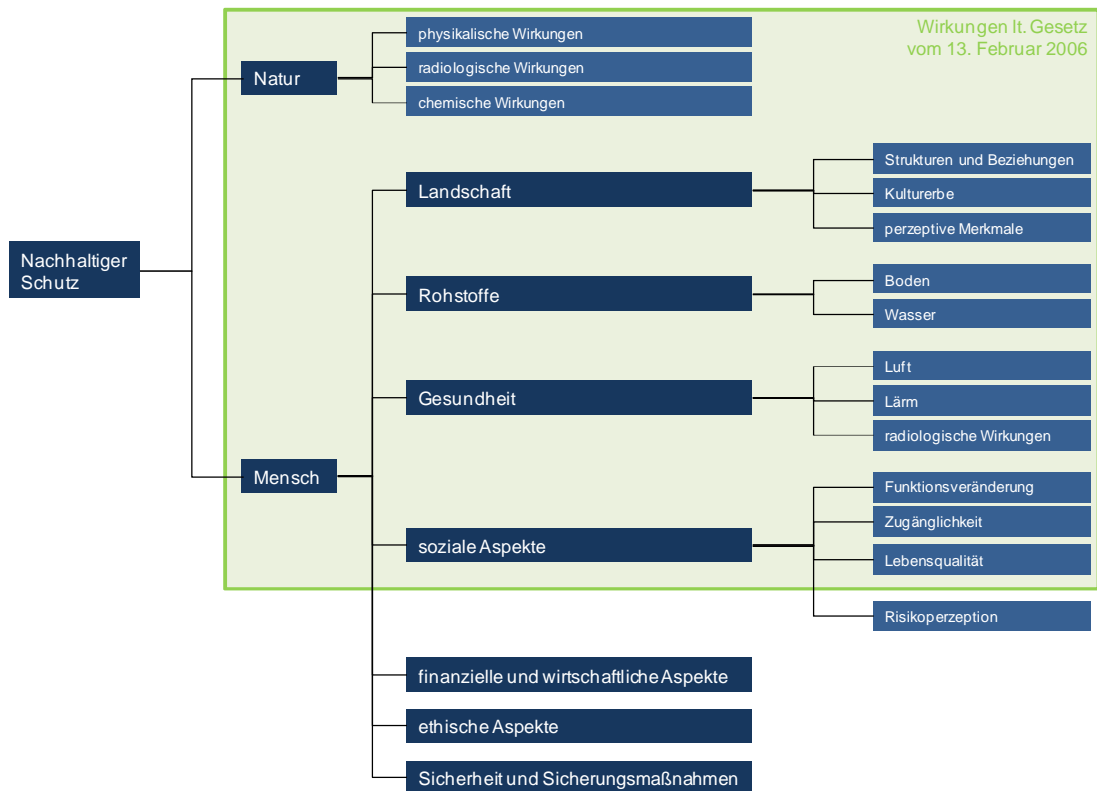
## 2. **METHODOLOGIE**

Diese SUP unterscheidet sich beträchtlich von „klassischen“ Umweltprüfungen. In diesem Kapitel werden kurz einige methodologische Besonderheiten beschrieben. Für nähere Informationen verweisen wir auf Kapitel 5 der SUP.

### 2.1 **Prüfungsrahmen**

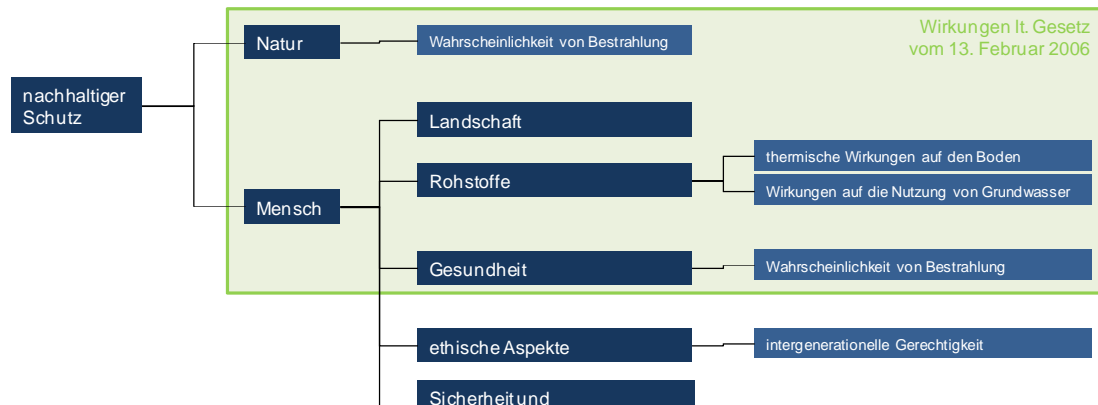
Der Abfallwirtschaftsplan und die SUP sind durch einen außergewöhnlich langen Zeithorizont gekennzeichnet. Mensch und Umwelt müssen nämlich zehntausende Jahre oder länger vor der Radioaktivität des Abfalls der Kategorien B und C geschützt werden. Während all dieser Zeit muss die ausgewählte Verwaltungsoption in der Lage sein, die Sicherheit zu gewährleisten. Das stellt besondere Anforderungen an die Art der Ausführung der Auswirkungsbeurteilung. In der Praxis werden im Rahmen dieser SUP gesondert eine kurz- und eine langfristige Analyse durchgeführt.

**Kurzfristig** steht für eine Periode von etwa 100 Jahren nach der Grundsatzentscheidung. Während dieser Zeit finden Vorbereitung, Bau, Betrieb und eventuelle Schließung und/oder Rückbau der Verwaltungsanlagen statt. Da diese Phase durch Aktivitäten gekennzeichnet wird, deren Umweltauswirkungen in großen Zügen bekannt sind oder sein werden, ist es sinnvoll, für diese Phase eine Beurteilung der „klassischen“ Umweltauswirkungen durchzuführen, wie bestimmt im Gesetz vom 13. Februar 2006. Darüber hinaus werden noch einige Themen besprochen, die im Rahmen der vier Dimensionen der Abbildung 2 relevant sind. Durch diesen breiten Bezugsrahmen lässt sich die zentrale Zielsetzung als „nachhaltiger Schutz“ beschreiben (siehe Abbildung 3).



**Abbildung 3: Zielsetzung, Aspekte und Teilaspekte für die Kurzfristperiode**

Unter **langfristig** verstehen wir die Periode, die nach der kurzfristigen Periode beginnt (also nach 100 Jahren) und die zehntausende bis sogar hunderttausende Jahre dauert. Obwohl wir für diese Periode in unserer Region noch von geologischer Stabilität ausgehen können, sind Aussagen über die zu erwartenden gesellschaftlichen Entwicklungen sinnlos. Eine Beurteilung der Auswirkungen nach der Struktur des Gesetzes vom 13. Februar 2006 ist für die langfristige Periode denn auch nicht sinnvoll. Langfristig konzentriert man sich demzufolge nicht so sehr auf die Auswirkungen selbst, sondern auf die Wahrscheinlichkeit, mit der eine inakzeptable Auswirkung eintritt. Es werden einige „klassische“ Umweltthemen untersucht, aber der Rahmen ist auch hier breiter als im Gesetz vom 13. Februar 2006 vorgeschrieben (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4: Zielsetzung, Aspekte und Teilaspekte für die Langfristperiode**

Auch die zu beurteilenden Verwaltungsoptionen werden für die kurz- und die langfristige Periode unterschiedlich sein. Kurzfristig können einige deutlich beschriebene Verwaltungsoptionen untersucht werden. Langfristig hat es keinen Sinn, sich auf die Verwaltungsoptionen zu fixieren, wie wir sie heute definieren können, und reduziert sich die Entscheidung auf die grundsätzliche Entscheidung zwischen aktiver Verwaltung (wobei sich der Schutz von Mensch und Umwelt konstant auf menschlichen Handlungen stützt) und passiver Verwaltung (wo keine menschlichen Handlungen mehr notwendig sind, um den Schutz von Mensch und Umwelt zu garantieren).

## 2.2 Der Prozess: gestaffelter Ansatz

Der Abfallwirtschaftsplan und die SUP unterstützen eine Grundsatzentscheidung, auf die erst später konkretere Entscheidungen über beispielsweise Standort und Ausführungsvariante folgen werden. Daher wird die Umweltprüfung insgesamt als ein Prozess in verschiedenen Stufen betrachtet, dessen erste Stufe diese SUP ist.

Das Basisprinzip dieses gestaffelten Ansatzes ist einfach: Die Umweltprüfung erfolgt in verschiedenen aufeinander folgenden Phasen, wobei in jeder Phase die Detailausprägung der Beurteilung nicht weitergeht als das was möglich und vertretbar angesichts der Detailausprägung im Plan selbst, und der Entscheidung, die der Plan unterstützen muss. Das bedeutet, dass einige Unterteile oder Niveaus der Beurteilung auf spätere (stärker projektorientierte, weniger strategische) Stufen verschoben werden. Das bedeutet keinesfalls, dass die Beurteilung nicht vollständig oder nicht exakt wäre: wenn alle Phasen abgeschlossen sind, wurden der Plan und seine Umsetzung nämlich detailliert beurteilt (siehe Abbildung 5).

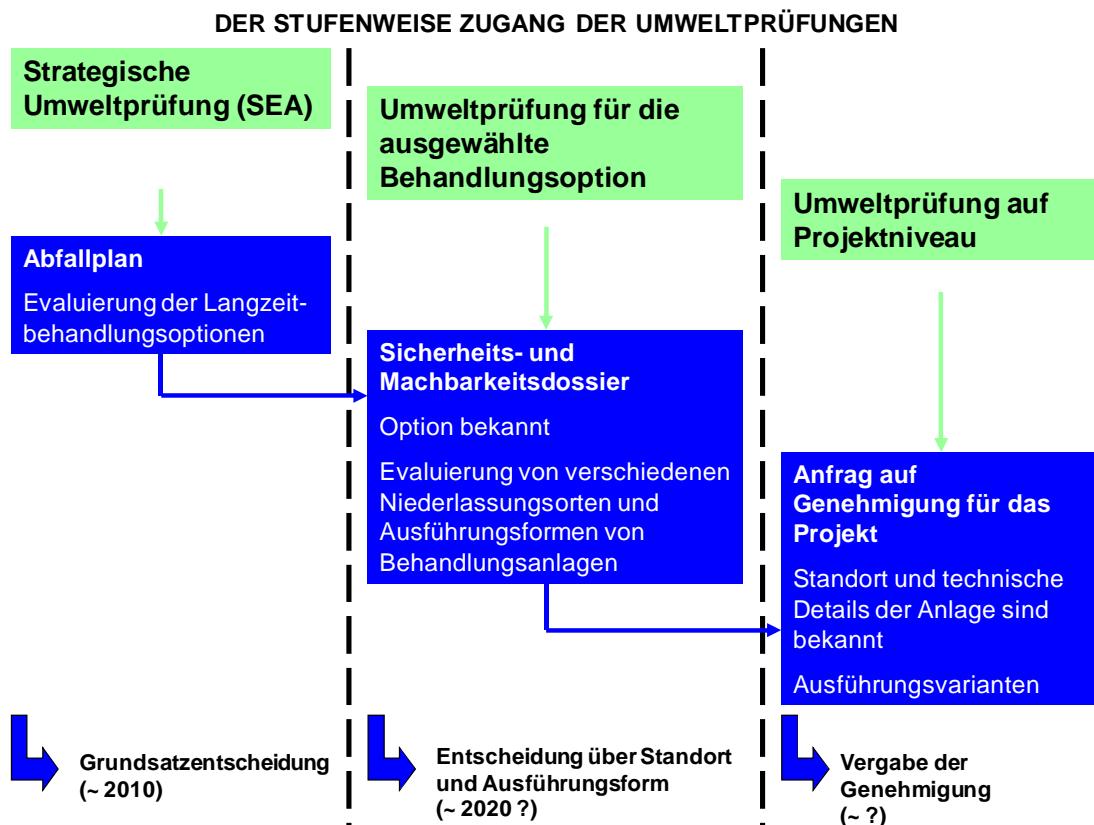


Abbildung 5: Gestaffelter Ansatz für die Beurteilung der Umweltauswirkungen einer Langzeitverwaltungsoption von Abfall der Kategorien B und C

## 2.3 Die Vorgehensweise

### 2.3.1 Radiologische Auswirkungen

Da sich die SUP auf einen Plan für die Langzeitverwaltung von hochaktivem und/oder langlebigem Abfall bezieht, sind die radiologischen Auswirkungen sehr relevant. Diese werden sowohl kurz- als auch langfristig untersucht.

Es geht ausdrücklich nicht darum, in diesem Stadium Dosisberechnungen für Mensch oder Natur anzustellen. Die strategische Art der Studie, die allgemeine Beschreibung der Verwaltungsoptionen und die Unsicherheit über den Standort oder die Standorte, an denen die Verwaltungsoption Gestalt erhalten wird, implizieren, dass Dosisberechnungen in diesem Rahmen weder durchführbar noch wünschenswert sind. Das bedeutet aber nicht, dass die bestehenden Kenntnisse ignoriert werden. Es gibt wirklich eine sehr umfassende nationale und internationale Wissensbasis in Bezug auf die radiologischen Auswirkungen der Langzeitverwaltung von radioaktivem Abfall, die selbstverständlich genutzt wird, um die (oft qualitative) Auswirkungsbeurteilung zu untermauern.

### 2.3.2 Keine räumliche Abgrenzung

Die Tatsache, dass sich diese SUP auf eine Grundsatzentscheidung bezieht, hat zur Folge, dass keine scharfe räumliche Abgrenzung des Plangebiets oder Wirkungsgebiet vorgenommen werden kann. Eine Entscheidung über den Standort steht zurzeit nämlich noch nicht auf der Tagesordnung. Das hat insbesondere Folgen für die kurzfristige

Beurteilung. Langfristig berücksichtigen wir nämlich nur die Wahrscheinlichkeit, mit der bestimmte inakzeptable Wirkungen eintreten könnten, ohne dies mit einem bestimmten Standort zu verbinden.

Die Unsicherheit über die aufnehmende Umgebung kann durch **Standardumgebungen** umgangen werden. Diese müssen natürlich so gut wie möglich an die räumlichen Anforderungen angepasst sein, die mit einer bestimmten Verwaltungsoption verbunden sind. Diese können mit Annahmen weiter ergänzt werden, die die Umgebung so detailliert typisieren, dass eine ausreichende Basis für die Beschreibung und Beurteilung der Wirkungen gelegt wird. Es muss aber darauf geachtet werden, dass die Standardumgebung allgemein genug bleibt, sodass Schlussfolgerungen eine breite Relevanz behalten. In dieser SUP definieren wir vier Standardumgebungen: städtisches Gebiet, Landwirtschaftsgebiet, Naturgebiet und Industriegebiet. Diese werden anhand einiger kennzeichnender Eigenschaften beschrieben (siehe Kapitel 5 der SUP).

Eine ergänzende Lösung für den Umgang mit der Sicherheit über die Umgebung ist die Verwendung **nicht-standortgebundener Kriterien**. So kann man für die Auswirkungsgruppe Luft die Emissionen der Anlage (d.h. ausgestoßene Menge oder Konzentration von Schadstoffen) anstelle der Immission (d.h. die resultierende Konzentration in der aufnehmenden Umgebung) betrachten. Vor allem langfristig sind nicht-standortgebundene Kriterien zu empfehlen, da die Unsicherheit über die Umgebung (bzw. deren Entwicklung) sehr groß ist.

Grenzüberschreitende Auswirkungen werden in dieser Phase noch nicht besprochen, da der Standort, an dem die ausgewählte Verwaltungsoption umgesetzt werden wird, noch nicht bekannt ist.

### 2.3.3 Robustheit

Die unmöglich exakt vorhersehbaren langfristigen Entwicklungen bringen ein hohes Maß an **Unsicherheit** mit sich. Das Ausmaß, in dem die verschiedenen Verwaltungsoptionen der Unsicherheit aufgrund von Veränderungen ausgesetzt sind, ist immer gleich. Unterschiedlich ist jedoch das Ausmaß, in dem diese unsicheren Veränderungen Folgen für das ordnungsgemäße Funktionieren der Verwaltungsoption selbst und für die zu erwartenden Auswirkungen (vor allem die radiologischen) haben. Das Ausmaß, in dem eine Verwaltungsoption mehr oder weniger durch (die Unsicherheit der) Veränderungen beeinflusst wird, bezeichnen wir hier mit dem Begriff **Robustheit**. Die Robustheit ist also eine der Verwaltungsoption eigene Eigenschaft.

Die oben angeführten Veränderungen können unterschiedlich sein:

- Natürliche Entwicklungen: z.B. Klimaveränderung als Folge des Treibhauseffekts, Erdbeben, Überschwemmung
- Veränderungen in der eigenen physischen und technischen Stabilität der Verwaltungsoption: z.B. schlechte Abdichtung der Anlage, Gasbildung
- Externe nicht-natürliche Ereignisse: z.B. Sondierungsbohrung durch ein unterirdisches Endlager, Flugzeugabsturz auf eine Übertageanlage
- Gesellschaftliche Entwicklungen: z.B. Überbevölkerung, Krieg

In Sicherheitsevaluierungen werden immer einige mögliche Entwicklungsszenarien betrachtet, die Einfluss auf die Verwaltung haben können. Gesellschaftliche Entwicklungen werden dort aber nicht systematisch besprochen. Daher entwickeln wir für die SUP über den Abfallwirtschaftsplan selbst den Begriff „gesellschaftliche Robustheit“. Gesellschaftliche Robustheit definieren wir als das Ausmaß, in dem die Verwaltungsoptionen gegen mögliche

zukünftige gesellschaftliche Entwicklungen und Unsicherheiten beständig sind. Verwaltungsoptionen, die gegenüber gesellschaftlichen Veränderungen unempfindlich sind - oder sich daran anpassen können, werden bessere Garantien für den Schutz von Mensch und Umwelt bieten.

Gesellschaftliche Robustheit wird anhand von drei Aspekten beschrieben:

- Flexibilität ist das Ausmaß, in dem man Entscheidungen, die man in der Vergangenheit getroffen hat, zurücknehmen kann. Dabei geht es nicht nur um die technische Möglichkeit, den Abfall aus einer Verwaltungsanlage zurückzuholen, wenn das notwendig oder wünschenswert ist. Flexibilität bezieht sich auf alle Stadien des Entscheidungsfindungsprozesses und der Implementierung der Verwaltungsoption.
- Autonomie ist das Ausmaß, in dem die Verwaltungsoption selbstständig weiter funktionieren kann, wenn die aktive Verwaltung durch den Menschen wegfällt.
- Sicherheit wird in diesem Kontext als das Ausmaß definiert, in dem die Verwaltungsoption die Sicherheit für Mensch und Umwelt bei ungünstigen gesellschaftlichen Entwicklungen garantieren kann. Das können unbeabsichtigte Bedrohungen sein, aber auch böswillige Handlungen.

Anhand einiger möglicher Entwicklungen in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen (u.a. Wissenschaft, Institutionen, Wirtschaft, Demografie) werden einige Zukunftsbilder auf kurze Sicht (um das Jahr 2100) und auf lange Sicht (um das Jahr 3000) erstellt. Danach wird die gesellschaftliche Robustheit der Verwaltungsoptionen geprüft, indem die Verwaltungsoptionen mit den Zukunftsbildern konfrontiert werden - dabei kontrolliert man, ob der Schutz von Mensch und Umwelt garantiert bleibt. Nähere Details finden Sie in Anlage C der SUP.

#### **2.3.4 Eine qualitative Beurteilung unterstützt durch eine breite internationale Wissensbasis**

Da sich diese SUP auf einem strategischen Niveau befindet und von Verwaltungsoptionen ausgeht, deren Details noch in späteren Phasen ausgearbeitet werden müssen, wird den Umfang der Auswirkungen nicht berechnet oder anhand von Computermodellen eingeschätzt. Jeder Versuch dazu würde ein falsches Gefühl von Genauigkeit ergeben, eine Genauigkeit, die zu diesem Zeitpunkt nicht für alle Verwaltungsoptionen erreicht werden kann und die eigentlich auch nicht notwendig ist, um eine Grundsatzentscheidung treffen zu können.

Die Beschreibung und die Beurteilung der Wirkungen basiert denn auch auf einem Expertenurteil. Das Expertenurteil stützt sich auf und wird untermauert durch die sehr umfassende Wissensbasis über die Verwaltungsoptionen, die während der vergangenen Jahrzehnte auf internationaler Ebene aufgebaut wurde. Durch eine jahrelange intensive Zusammenarbeit auf internationaler Ebene (unter anderem in der IAEO, der Europäischen Union und der OECD) und durch multilaterale Kontakte mit Verwaltungsinstanzen für radioaktiven Abfall in zahlreichen anderen Ländern hat die NERAS (und über die NERAS auch die Experten, die die SUP ausführen) Zugang zu dieser Wissensbasis.

Anhand dieser Studien und von Analogien mit vergleichbaren früher oder anderweitig untersuchten Plänen oder mit bereits bestehenden gleichartigen Anlagen ist es möglich, ein wissenschaftlich fundiertes Expertenurteil zu formulieren, ohne in dieser Phase schon spezifische Modelle gebrauchen zu müssen.

### **3. VERWALTUNGSOPTIONEN**

Die untersuchten Verwaltungsoptionen für Abfall der Kategorien B und C werden in diesem Kapitel kurz beschrieben. Für nähere Details verweisen wir auf Kapitel 7 der SUP.

Einige Verwaltungsoptionen kommen für unser Land nicht in Frage, weil sie im Widerspruch zu den belgischen Gesetzen oder zu internationalen Übereinkommen stehen, die durch Belgien ratifiziert wurden. Es handelt sich u.a. um Endlagerung im Meer, Entsorgung im Inlandeis oder Entsorgung im Weltraum.

Die Verwaltungsoptionen, die schon in Frage kommen, umfassen einerseits die Verwaltungsoptionen mit endgültigem Charakter und andererseits die nicht-definitiven Verwaltungsoptionen. Bei den Verwaltungsoptionen mit endgültigem Charakter unterscheidet man zwischen aktiver Verwaltung (wobei sich der Schutz von Mensch und Umwelt konstant auf menschliche Handlungen stützt) und passiver Verwaltung (wobei keine menschlichen Handlungen mehr notwendig sind, um den Schutz von Mensch und Umwelt zu garantieren). Die nicht-definitiven Verwaltungsoptionen bedeuten, dass man die Entscheidung über eine definitive Verwaltungsoption aufschiebt. Die Status-quo-Option bedeutet, dass die heutige Lagerung in den bestehenden Anlagen fortgesetzt wird.

#### **3.1 Verwaltungsoptionen mit endgültigem Charakter**

##### **3.1.1 Aktive Verwaltung**

Die NERAS sieht nur eine mögliche aktive Verwaltungsoption, die definitiv werden kann: die so genannte dauerhafte Zwischenlagerung. Bei dieser Option wird der Abfall „ewig“ in speziell dafür entworfenen Anlagen mit dazugehörigen Kontrollmechanismen gelagert („eternal stewardship“). Dauerhafte Zwischenlagerung kann als eine konstante Wiederholung – über hunderttausende Jahre – stets neuer Etappen von Konditionierung und Lagerung betrachtet werden, die mit einem Intervall von 100 bis 300 Jahren aufeinander folgen.

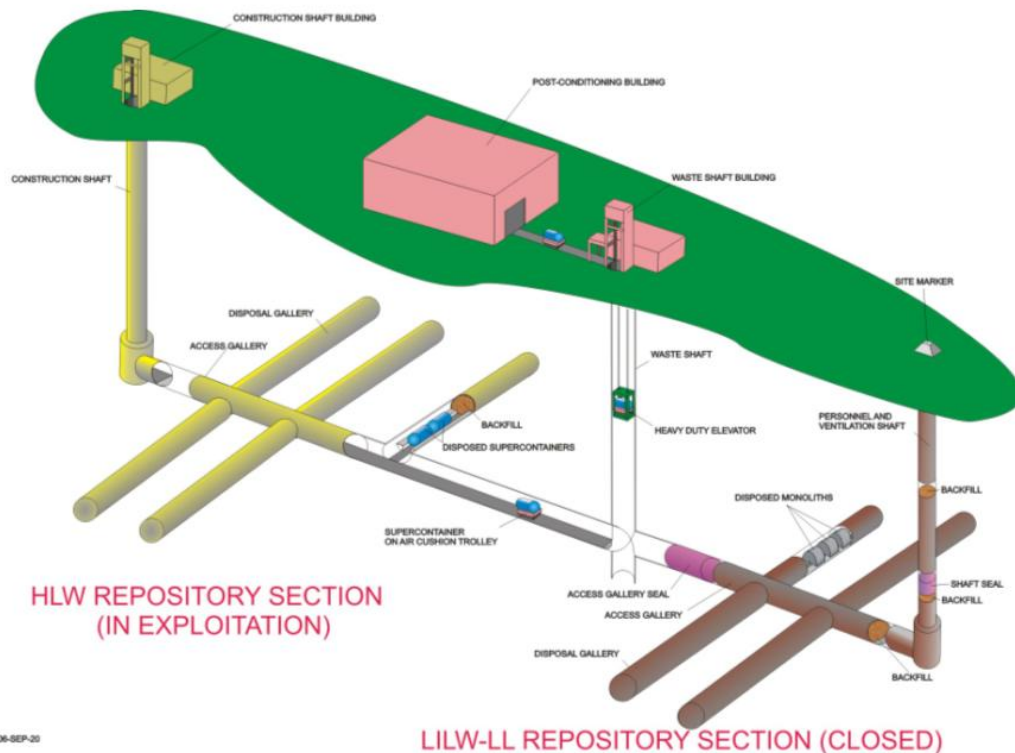
Der Schutz von Mensch und Umwelt basiert bei der dauerhaften Zwischenlagerung auf der Verpackung des Abfalls und auf dem Lager, das konstant unter Kontrolle bleiben muss. Verpackung und Lager sind gleich wie bei langfristiger Lagerung (siehe Absatz 3.2.1); alle 100 bis 300 Jahre werden sie ersetzt. Bei diesem Prozess entsteht zusätzlicher radioaktiver Abfall, sodass die Abfallmenge nach jedem Zyklus langfristiger Lagerung zunimmt. Auch die Auswirkungen des Baus der Einrichtungen (siehe Kapitel 4) treten in jedem Zyklus auf.

Bei der dauerhaften Zwischenlagerung müssen das notwendige Wissen und Know-how stets an die folgenden Generationen weitergegeben werden. Ferner müssen für den regelmäßigen Ersatz der Verpackung und der Gebäude immer wieder Finanzierungsmechanismen gefunden werden.

##### **3.1.2 Passive Verwaltung**

###### **3.1.2.1 Geologische Endlagerung**

Bei geologischer Endlagerung wird der radioaktive Abfall in einer Tiefe von mehreren hundert Metern in einem speziell entworfenen Endlager in eine geeignete geologische Schicht eingebracht und mit Aufschüttungsmaterial umgeben. Nach der Betriebsphase wird das Endlager verschlossen und ist eine aktive Verwaltung nicht mehr notwendig, um die Sicherheit zu gewährleisten. Dennoch kann Überwachung vorgesehen werden.



VERSION DATE 2006-SEP-20

**Abbildung 6: Referenz-Endlagerarchitektur zur geologischen Endlagerung**

Die geeignete geologische Schicht, die Wirtsformation genannt wird, muss u.a. in der Lage sein, die Bewegung von Radionukliden zu beschränken, möglichen zukünftigen Phänomenen im Untergrund standzuhalten und die Ausführung von Bauarbeiten zu erlauben. Ferner müssen auch die heutigen und potenziellen menschlichen Aktivitäten am und dicht beim Standort berücksichtigt werden.

Die Sicherheit von Mensch und Umwelt beruht auf den künstlichen Barrieren (die Verpackung des Abfalls, das Aufschüttungsmaterial und die Abdichtung der Stollen und der Schächte) und auf der natürlichen Barriere (die geologische Wirtsformation). Auf lange Sicht werden die künstlichen Barrieren schwächer und verhindert die Wirtsformation die Bewegung der Radionuklide. Rückholbarkeit kann umgesetzt werden, wird aber in dem Ausmaß immer schwieriger und kostspieliger, je mehr die Schließung der Anlage sich nähert.

International gibt es einen breiten Konsens über geologische Endlagerung als empfohlene Option zur Langzeitverwaltung von hochaktivem und/oder langlebigem Abfall. Einige Länder haben dies sogar in ihrer Gesetzgebung verankert (Schweiz, Japan, Finnland, Frankreich). Die konkrete Ausführung der geologischen Endlagerung ist jedoch von Land zu Land unterschiedlich.

International wurden verschiedene Gesteinsarten als mögliche Wirtsformationen untersucht. Ein erstes geologisches Endlager für Abfall der Kategorie B ist seit dem Ende der 90er Jahre in einer Salzschiefer in Carlsbad, New Mexico (Vereinigte Staaten), in Betrieb. Finnland ist das einzige europäische Land, in dem bereits eine Anlage zur geologischen Endlagerung gebaut wird. Dem gingen umfassende Studien voraus, in denen verschiedene mögliche Endlagerungsstandorte verglichen wurden. Der ausgewählte Standort (Olkiluoto) liegt in der Nähe einer bestehenden Kernanlage. In Schweden wurden in den vergangenen Jahren auch einige mögliche Standorte für die geologische Endlagerung gründlich erforscht und verglichen. Im Laufe des Sommers 2009 wurde Forsmark ausgewählt, ein Standort der

ebenfalls in der Nähe einer Kernanlage liegt. Frankreich entschied sich 2006 für die geologische Endlagerung in einer Tonschicht. Erst kürzlich hat Deutschland das Programm für geologische Endlagerung in einer Salzkuppel in Gorleben wieder aufgenommen. Der Schacht Konrad befindet sich in einem alten Eisenerzbergwerk und wird 2013 in Betrieb gehen können.

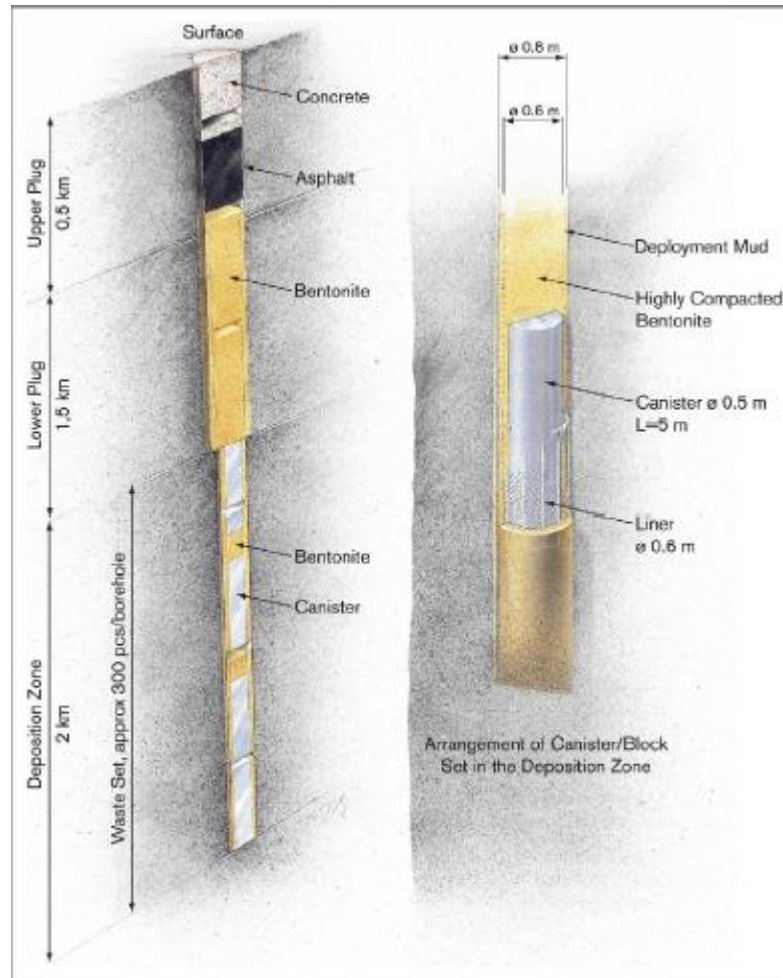
In Belgien wurde vor allem schwach verfestigter Ton als mögliche Wirtsgestein untersucht. Der **Boomsche Ton** befindet sich im Untergrund in den Provinzen Antwerpen und Limburg. Er ist sehr homogen und plastisch (d.h. Brüche und Risse verschließen sich von selbst). Er erlaubt keine Wasserbewegungen und viele Metalle und Radionuklide werden festgehalten. Außerdem ist das Gestein an mehreren Stellen in ausreichender Tiefe vorhanden und dick genug. Es gibt auch keine abbaubaren Rohstoffe in der Nähe, die die Sicherheit des Systems in Gefahr bringen könnten. Nach Jahrzehnte langer Forschung ist man davon überzeugt, dass der Boomsche Ton als Wirtsgestein für die geologische Endlagerung in Belgien dienen könnte.

Der **Yperscher Ton** befindet sich vor allem im Untergrund von West- und Ostflandern. Die Eigenschaften des Yperschen Tons ähneln zum Teil den Eigenschaften des Boomschen Tons. Im belgischen Forschungs- und Entwicklungsprogramm wird der Yperscher Ton vorläufig als alternatives Wirtsgestein betrachtet.

Der notwendige Umfang des geologischen Endlagers hängt vom Volumen und der Wärmeabgabe des Abfalls ab. An der Oberfläche wäre ein Standort von schätzungsweise ca. 75 ha erforderlich.

### 3.1.2.2 Endlagerung in Tiefbohrungen

Bei Endlagerung in Tiefbohrungen werden einige Meter lange Abfallbehälter mit einem Durchmesser von 50 bis 100 cm aufeinander in einem engen, mehrere Kilometer tiefen Bohrloch gestapelt. Zwischen zwei Behältern kommt jeweils Aufschüttungsmaterial (z.B. Bentonit) und auch der obere Teil des Bohrlochs wird gefüllt. Nach dem Verschluss des Bohrlochs ist keine menschliche Intervention mehr vorgesehen und ist Rückholbarkeit vernünftigerweise nicht mehr möglich.



**Abbildung 7: Konzept zur Endlagerung in Tiefbohrungen**

Die Integrität der Verpackung des Abfalls und des Aufschüttungsmaterials kann in großer Tiefe nicht garantiert werden. Das Wirtsgestein ist nach einiger Zeit die einzige Barriere zwischen dem radioaktiven Abfall und der Umwelt und muss daher mit der nötigen Sorgfalt ausgewählt werden.

Über die Anwesenheit geeigneter Wirtformationen zur Endlagerung in Tiefbohrungen in Belgien ist praktisch nichts bekannt. Der Untergrund in einigen Kilometern Tiefe wurde bisher nur wenig mittels Bohrungen untersucht. Zur Implementierung der Endlagerung in Tiefbohrungen wären also noch viele Jahre Forschung notwendig, um potenziell geeignete Wirtsgesteine zu finden – ohne Garantie auf Erfolg.

Die Technologie für die Bohrungen ist zurzeit noch nicht in Gebrauch, obwohl das notwendige Wissen zur deren Entwicklung vorhanden ist.

Für die Endlagerung des belgischen hochaktiven und/oder langlebigen Abfalls wären etwa 60 Bohrlöcher notwendig. Studien in Schweden, im Vereinigten Königreich und in den Vereinigten Staaten empfehlen einen Abstand von mindestens 500 m zwischen zwei Bohrlöchern. Ein Standort mit 60 Bohrlöchern würde dadurch eine sehr große Fläche einnehmen (Größenordnung von 13 km<sup>2</sup>). Endlagerung in Tiefbohrungen kann für Länder mit geringen Mengen an hochaktivem und/oder langlebigem Abfall, wo sich eine geeignete Wirtformation befindet, durchaus eine interessante Option sein.

## **3.2 Nicht-definitive Verwaltungsoptionen**

### **3.2.1 Langfristige Lagerung in Erwartung einer Entscheidung über eine Verwaltungsoption mit endgültigem Charakter**

Diese Verwaltungsoption bedeutet, dass der radioaktive Abfall für einen Zeitraum von 100 bis 300 Jahren in angepassten Anlagen gelagert wird. Zukünftige Generationen sollen spätestens nach Ablauf dieses Zeitraums eine Entscheidung darüber treffen, wie die Verwaltung fortgesetzt wird. Langfristige Lagerung impliziert den Bau neuer Lagerungseinrichtungen und die dazugehörige aktive Verwaltung: Kontrollen, regelmäßige Instandhaltung der Anlage und regelmäßige Überprüfung der Integrität der Behälter und des Abfalls selbst. Diese nicht-definitive Verwaltungsoption stimmt mit der ersten Phase der dauerhaften Zwischenlagerung überein (siehe Absatz 3.1.1), aber impliziert, dass auf Dauer eine definitive Verwaltungsoption implementiert wird, was zu zusätzlichen Auswirkungen führt (siehe Kapitel 4).

Der Schutz von Mensch und Umwelt basiert bei der langfristigen Lagerung auf der Verpackung des Abfalls und auf der Lagerungseinrichtung, die konstant unter Kontrolle bleiben muss. Die Verpackung dient u.a. zum Einschluss der Radionuklide und sorgt dafür, dass z.B. bei einem Unfall keine radioaktive Strahlung entweichen kann. Für Abfall der Kategorie B ist ein Betonbehälter geeignet; für Abfall der Kategorie C werden Metallbehälter vorgesehen. In beiden Fällen könnte die Lebensdauer bis zu 300 Jahre betragen.

Das Lager muss den Abfall vor ungünstigen Einflüssen wie Erdbeben und abstürzenden Flugzeugen schützen. Es wurde nachgewiesen, dass bewehrte Betonkonstruktionen eine Lebensdauer von mindestens 100 Jahren haben können. Besondere Aufmerksamkeit muss der Regulierung der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit in der Anlage gewidmet werden, um Korrosion der Verpackungen zu vermeiden.

Die Ausrüstung des Lagerungsanlage (Maschinen, Lüftung, Systeme für Überwachung und Kontrolle usw.) muss während der gesamten Lebensdauer funktionstüchtig bleiben. Dazu wird sie regelmäßig gewartet und ersetzt werden müssen. Auch die Informationen über den Abfall und das technische Know-how über die Verwaltung müssen erhalten bleiben, solange die Lagerungsanlage benutzt wird. Angesichts der langen Lebensdauer der Anlage ist das eine technische und gesellschaftliche Herausforderung. Schließlich ist auch ein Finanzierungsmechanismus erforderlich, der den zukünftigen Generationen die Mittel zur Verfügung stellt, um die Anlage sicher zu betreiben.

Für langfristige Lagerung wäre ein Standort von ca. 40 ha erforderlich.

### **3.2.2 Lagerung in Erwartung der industriellen Anwendung von nuklearen Spitzentechnologien**

Diese Verwaltungsoption bedeutet, dass man nun noch keine Entscheidung über die Langzeitverwaltung trifft, sondern beschließt, auf neue Technologien zu warten. Konkret geht es um „Abtrennung und Umwandlung“, wobei abgebrannter Kernbrennstoff in verschiedene Teilströme getrennt wird, die dann gesondert und optimiert verwaltet werden können. Für eine ausführlichere Beschreibung verweisen wir auf Kapitel 7 der SUP. Diese Technologien befinden sich zurzeit noch im Entwicklungsstadium. Eine Anwendung in industriellem Maßstab wäre erst in 30 bis 40 Jahren möglich. Bis diese neuen Technologien verfügbar sind, wird der abgebrannte Kernbrennstoff gelagert. Die Verpackung des Abfalls und die Anlagen sind gleich wie für die langfristige Lagerung in Erwartung einer Entscheidung über eine Verwaltungsoption mit endgültigem Charakter (siehe Absatz 3.2.1).

Eine Entscheidung für eine fortgeschrittene Verwaltung verlangt, dass man sich für einen (teilweise) geschlossenen Brennstoffkreislauf entscheidet, wobei die nutzbaren Fraktionen des abgebrannten Kernbrennstoffs recycelt („wiederaufbereitet“) werden. Das impliziert auch ein längerfristiges Engagement (mehr als 100 Jahre) zur Stromerzeugung durch Kernenergie und zur Wiederaufbereitung.

Diese Verwaltungsoption erfordert außerdem früher oder später eine neue Entscheidung über die Langzeitverwaltung des bereits bestehenden und geplanten Abfalls, der mit nuklearen Spitzentechnologien nicht weiter behandelt werden kann. Die Implementierung einer Verwaltungsoption mit endgültigem Charakter führt zu zusätzlichen Auswirkungen (siehe Kapitel 4). Außerdem muss auch für den hochaktiven und/oder langlebigen Abfall, der durch diese Technologien unvermeidlich produziert werden wird, die langfristige Verwaltung sicher gestellt werden.

### **3.3 Status-quo-Option**

Diese Verwaltungsoption bedeutet, dass man sich entscheidet, keine Entscheidung über die Langzeitverwaltung zu treffen; die Grundsatzentscheidung wird also auf unbestimmte Zeit verschoben. Das bedeutet, dass die heutigen Verwaltungsaktivitäten in den bestehenden Lagergebäuden fortgesetzt werden: regelmäßige Kontrolle der Verpackung, Konditionierung des Abfalls wenn notwendig, Kontrolle und Instandhaltung der Anlagen. Die Dauer davon wird durch die Lebensdauer der heutigen Anlagen (ca. 75 Jahre) und das Tempo, in dem diese gefüllt werden, beschränkt. Wenn die Lebensdauer der bestehenden Lagerungseinrichtungen abgelaufen ist oder wenn die Abfallmenge zu groß werden sollte, werden die Anlagen renoviert oder neue Lagerungseinrichtungen gebaut werden müssen. International gibt es einen breiten Konsens darüber, dass die Fortsetzung von Zwischenlagerung keine Lösung auf lange Sicht ist (siehe unter anderem die Entscheidungen, die in Kanada, Schweden, Finnland und im Vereinigten Königreich getroffen wurden). Auf Dauer wird eine Verwaltungsoption mit endgültigem Charakter implementiert werden müssen, was zu zusätzlichen Auswirkungen führt (siehe Kapitel 4).

Die belgischen Lagergebäude befinden sich am Standort von Belgoprocess in Dessel (u.a. Gebäude B127, B129 und B155 für Abfall der Kategorie B und Gebäude B136 für Abfall der Kategorien B und C) und bei den Kernkraftwerken von Doel und Tihange (für die Lagerung von abgebranntem Kernbrennstoff). Die bestehenden Lagergebäude auf dem Gelände von Belgoprocess bieten keine ausreichende Kapazität, um die erwartete Gesamtmenge an Abfall der Kategorie B aufzufangen. Die Kapazität müsste um 3 bis 10% erweitert werden, je nachdem man sich für oder gegen Wiederaufbereitung entscheidet. Bei Fortsetzung der Wiederaufbereitung müsste auch die Kapazität des Gebäudes B136 erweitert werden. Wenn der abgebrannte Brennstoff nicht aufbereitet wird, müsste die Lagerungskapazität der Kernkraftwerke Doel und Tihange erweitert werden. Für die Erweiterung der Kapazität wäre ein beschränkter zusätzlicher Platzbedarf von insgesamt etwa 8 ha notwendig.



**Abbildung 8: Gebäude B136 für die Lagerung von Abfall der Kategorien B und C**

In der SUP wird die Status-quo-Option als die „Nullalternative“ betrachtet, d.h. die Option, die als Vergleichsbasis für die Beurteilung der Auswirkungen der anderen Verwaltungsoptionen dient. Beachten Sie, dass die Definition einer Nullalternative nur kurzfristig (ca. 100 Jahre) sinnvoll ist. Früher oder später (z.B. wenn die Lager voll sein werden) wird man eine Entscheidung über die Langzeitverwaltung treffen müssen. Das Konzept „Nullalternative“ gilt also nicht auf lange Sicht.

## **4. BESCHREIBUNG UND BEURTEILUNG DER AUSWIRKUNGEN**

In diesem Kapitel folgt eine kurze Übersicht der Beschreibung und Beurteilung der Auswirkungen. Für nähere Details verweisen wir auf Kapitel 9 der SUP.

### **4.1 Auswirkungen auf die Natur**

#### **4.1.1 Physische Auswirkungen**

**Kurzfristig** werden die folgenden physischen Auswirkungen auf die Natur betrachtet:

- Direkter Ökotoptverlust
- Störende Auswirkungen durch u.a. Lärm und Vibrationen, Licht, Veränderungen der Wasser- oder Luftqualität oder des Grundwasserspiegels
- Auswirkungen auf ökologische Verbindungen: Zerstückelung und Barrierefunktion

Diese Gruppen von Auswirkungen sind nur zu beurteilen, wenn man Sicht auf den Standort hat, an dem sich die Verwaltungsanlagen befinden werden. Da dieser Standort noch nicht bekannt ist, wird mit Standardumgebungen gearbeitet (siehe Absatz 2.3.2) und ist die Beschreibung und Beurteilung der Auswirkungen qualitativ. In der Beurteilung werden der Umfang und die Dauer der Auswirkungen und die Gefährdung der (Standard-)Umgebung berücksichtigt.

Für den direkten Verlust an Ökotopten ist der Platzbedarf entscheidend. Der Platzbedarf von langfristiger Lagerung oder dauerhafter Zwischenlagerung und geologischer Endlagerung ist ungefähr gleich hoch. Zur Endlagerung in Tiefbohrungen ist eine viel größere Oberfläche erforderlich, aber es scheint unwahrscheinlich, dass die Ökotopten in der gesamten Zone verloren gehen. Die Status-quo-Option impliziert nur einen beschränkten zusätzlichen Platzbedarf. Für alle Verwaltungsoptionen ist der Ernst der Auswirkungen am größten im Naturgebiet, weniger groß im extensiven Agrargebiet und beschränkt im Industriegebiet, im städtischen Gebiet oder intensiven Agrargebiet.

Störung durch Lärm und Vibrationen ist vor allem während der Errichtung zu erwarten. Bei langfristiger Lagerung oder dauerhafter Zwischenlagerung wird eine stärkere Lärmbelastung erwartet als bei geologischer Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen. Das liegt an der kürzeren Periode, in der die Bauarbeiten ausgeführt werden. Auch die Standardumgebung spielt hier eine Rolle: im Naturgebiet oder extensiven Agrargebiet ist die Störung am stärksten, sicher wenn die Arbeiten während der Brutsaison ausgeführt werden. Im Industriegebiet, städtischen Gebiet oder intensiven Agrargebiet wird die Störung als beschränkt bis zu vernachlässigbar betrachtet.

Die Störung durch Änderungen der Luftqualität oder des Wasserhaushalts wird für alle Verwaltungsoptionen als beschränkt bis zu vernachlässigbar eingeschätzt.

Die Lichtbelastung ist beträchtlich, wenn sich der Standort in einem Naturgebiet oder extensiven Agrargebiet befindet, wo es Arten gibt, die empfindlich auf diese Art von Störung reagieren. Es kann nämlich angenommen werden, dass der Standort aus Sicherheitsgründen beleuchtet wird. Im Industriegebiet, städtischen Gebiet oder intensiven Agrargebiet ist die Lichtbelastung schon heute beträchtlich und wird die zusätzliche Belastung als beschränkt betrachtet.

Die Auswirkungen auf die ökologischen Verbindungen hängen vom Platzbedarf (siehe oben) und vom Ausmaß ab, in dem die natürlichen Bewegungen von Organismen eingeschränkt

werden. Da der Standort noch nicht bekannt ist, ist dieser Aspekt schwer zu beurteilen. Im Allgemeinen kann man aber davon ausgehen, dass der Ernst der Auswirkungen in Naturgebieten am größten sein wird.

Die **langfristigen** Auswirkungen auf die Natur sind sehr schwer einzuschätzen, weil sie von einigen zurzeit nicht bekannten Aspekten abhängen, beispielsweise vom Klima. Man kann aber durchaus sagen, dass bei passiver Verwaltung im Prinzip längerfristig eine natürliche Entwicklung für den Standort möglich ist. Bei aktiver Verwaltung hingegen bleiben konstant Übertageanlagen vorhanden, was einer natürlichen Entwicklung im Weg steht.

#### 4.1.2 Radiologische Auswirkungen

Für die Evaluierung der radiologischen Auswirkungen auf Fauna und Flora wird die absorbierte Jahresdosis untersucht, d.h. die Menge an Strahlungsenergie, die pro kg Materie und Zeiteinheit absorbiert werden kann. Durch diverse internationale Organisationen wurden Studien über den Einfluss von Strahlung auf Fauna und Flora ausgeführt, um daraus Grenzwerte abzuleiten.

In diesem Stadium ist es noch nicht möglich, die Jahresdosis für die verschiedenen Verwaltungsoptionen quantitativ einzuschätzen. Daher erfolgte die Beurteilung qualitativ anhand der Wahrscheinlichkeit der Abwesenheit signifikanter Belastung.

Im Allgemeinen kann man sagen, dass die Auswirkungen von Strahlung auf die Biodiversität in den Gebieten mit der größten Artenvielfalt größer sein werden (also in Naturgebieten und in geringerem Ausmaß in Agrargebieten).

**Kurzfristig** gibt es wenig Unterschied zwischen den Verwaltungsoptionen. Kurzfristig ist nämlich eine operative Phase: die Anlagen werden gebaut, der Abfall wird konditioniert und in die Anlage eingebracht, menschliche Aufsicht bleibt vorhanden. Man nimmt an, dass die Anlagen sowohl für Lagerung als auch für Endlagerung durch technische Verbesserungen einen besseren Schutz bieten, als die bestehenden Anlagen. Auch für die Status-quo-Option kann die Wahrscheinlichkeit der Abwesenheit signifikanter Belastung aber auf Grundlage von Daten über die heutigen Routineausscheidungen als recht hoch betrachtet werden. Im Falle geologischer Endlagerung oder von Endlagerung in Tiefbohrungen ist ein Teil des Abfalls bis zum Ende der kurzfristigen Periode bereits unterirdisch endgelagert, was die Wahrscheinlichkeit einer Belastung noch senkt.

Auch **langfristig** wird die Wahrscheinlichkeit der Abwesenheit signifikanter Belastung als hoch betrachtet, zumindest unter normalen Umständen. Dauerhafte Zwischenlagerung besteht aus Langzeitlagerungszyklen und bietet uns langfristig im Prinzip denselben Schutz wie in der Kurzfristperiode. Die regelmäßige Konditionierung des Abfalls führt aber immer wieder zu einer bestimmten Dosis für die Arbeitnehmer. Für geologische Endlagerung zeigen Studien im In- und Ausland, dass keine negativen Auswirkungen infolge einer Strahlenbelastung zu erwarten sind. Zu Endlagerung in Tiefbohrungen gibt es viel weniger Untersuchungen. Durch die sehr große Tiefe kann aber angenommen werden, dass die Konzentrationen von Radionukliden in der Biosphäre so niedrig sein werden, dass sie nicht zu einer Wirkung auf Fauna und Flora führen werden.

#### 4.1.3 Auswirkungen toxischer chemischer Komponenten

Toxische chemische Komponenten wie Schwermetalle kommen im radioaktiven Abfall, aber auch in der Verpackung und im Aufschüttungsmaterial vor. Die Menge an chemischen Komponenten sinkt nicht im Laufe der Zeit, im Gegensatz zu den Radionukliden, deren Radioaktivität durch radioaktiven Zerfall abnimmt. Wenn die Radioaktivität in hunderttausenden Jahren durch radioaktiven Zerfall sehr stark abgenommen hat, kann die

chemische Toxizität das Hauptrisiko werden. Die chemischen Auswirkungen können anhand von Konzentrationen beschrieben werden, die im Prinzip mit Grenzwerten verglichen werden können. Dazu gibt es aber nur wenig quantitative Informationen.

**Kurzfristig** hängen die chemischen Auswirkungen stark mit den radiologischen Auswirkungen zusammen. Wir verweisen daher auf Absatz 4.1.2.

Zu den **langfristigen** chemischen Auswirkungen wurden nur wenige Studien durchgeführt. Diese zeigen, dass bei geologischer Endlagerung infolge der Freisetzung von chemischen Komponenten keine schädlichen Auswirkungen auf Fauna und Flora zu erwarten sind.

## 4.2 Auswirkungen auf Landschaft, architektonisches Erbe und Archäologie

Die folgenden Gruppen von Auswirkungen wurden untersucht:

- Auswirkungen auf Landschaftsstrukturen und -beziehungen
- Auswirkungen auf architektonisches Erbe
- Auswirkungen auf archäologische Werte
- Visuelle Auswirkungen

**Kurzfristig** sind die Unterschiede zwischen den Verwaltungsoptionen nicht besonders groß. In allen Fällen wird eine beträchtliche Oberfläche eingenommen, wo die landschaftlichen Werte zum Großteil vernichtet werden. Das geht Hand in Hand mit signifikanten visuellen Auswirkungen. Auch die vorhandenen archäologischen Werte (die sich in den obersten Bodenschichten befinden) werden vernichtet. Wenn architektonisches Erbe am Standort oder in der unmittelbaren Umgebung vorhanden ist, wird dieses zumindest direkten Schaden erleiden. Die Beurteilung der Auswirkungen hängt natürlich stark vom Standort ab. Die Auswirkungen können einen geringeren Umfang haben, wenn man sich für einen Standort mit beschränktem landschaftlichem und denkmalpflegerischem Wert entscheidet. Für die Status-quo-Option wird nur eine kleine Erweiterung der bestehenden Anlagen vorgesehen und sind die Auswirkungen auf die Landschaft vernachlässigbar.

Die **langfristigen** Auswirkungen auf die Landschaft sind durch die Unsicherheiten über u.a. das Klima kaum einzuschätzen. Man kann aber davon ausgehen, dass die Landschaft bei passiver Verwaltung im Prinzip längerfristig wiederhergestellt oder neu angelegt werden kann. Bei aktiver Verwaltung ist das nicht möglich, weil es am Standort konstant Übertageanlagen geben wird. Möglicherweise wird es bei geologischer Endlagerung am Anfang der langfristigen Periode Prozessauswirkungen auf das architektonische Erbe in der weiteren Umgebung des Standorts geben, da infolge der Wärmeabgabe des Abfalls zu einer beschränkten thermischen Ausdehnung des Bodens kommt. An der Oberfläche könnte das zu einer Anhebung von höchstens etwa 15 cm führen. Schaden durch Differentialerhöhungen scheint eher unwahrscheinlich. Diese Auswirkung wird allmählich verschwinden, wenn das Wirtsgestein wieder seine ursprüngliche Form angenommen hat.

## 4.3 Auswirkungen auf Rohstoffe

### 4.3.1 Boden

**Kurzfristig** werden die folgenden Auswirkungen untersucht:

- Physische Störung des Bodens: Änderung des Bodenprofils oder der Bodennutzung, Strukturänderung und Austrocknung

- Nicht-radiologische Bodenverunreinigung während der Errichtung durch beispielsweise Öl von Baustellenfahrzeugen
- Erdbewegung

Die physische Störung des Bodens wird anhand der Oberfläche eingeschätzt, auf der sich Gebäude, Infrastruktur, befestigte Flächen oder Aushub befinden werden. Für dauerhafte Zwischenlagerung oder langfristige Lagerung und für Endlagerung in Tiefbohrungen wird die Oberfläche an gestörtem Boden auf ca. 14,5 ha geschätzt. Für geologische Endlagerung wird eine etwas größere Oberfläche (ca. 20 ha) vorgesehen; das ist auf die große Fläche zurückzuführen, die für die Lagerung des Aushubs notwendig ist. Die Status-quo-Option impliziert nur eine beschränkte zusätzliche Störung des Bodens.

Bodenverunreinigung wird den Erwartungen nach an die Zonen gekoppelt sein, wo es Bauarbeiten geben wird. Wenn diese nach ihrer geschätzten Oberfläche verglichen werden, ergibt das dieselbe Beurteilung wie für die physische Störung des Bodens.

Die Erdbewegung ist bei geologischer Endlagerung am umfangreichsten. Das ist hauptsächlich auf die Lagerung und Abdeckung des Aushubs am Standort zurückzuführen. Bei Endlagerung in Tiefbohrungen wird eine kleinere Bodenmenge ausgegraben. Langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung erfordert nur den Antransport von Erdreich zur Anhebung des Geländes unter den Gebäuden. Die Status-quo-Option impliziert eine beschränkte Erdbewegung.

Die Beurteilung der Störung des Bodens und der Bodenverunreinigung hängt von der Standardumgebung ab. In städtischen oder industriellen Umgebungen, die durch bereits stark gestörte Böden gekennzeichnet sind, werden diese Auswirkungen als weniger negativ beurteilt werden, als in einer natürlichen oder agrarischen Umgebung, wo möglicherweise noch relativ intakte Böden gefunden werden. Die Erdbewegung ist von der Standardumgebung unabhängig.

Am Anfang der **langfristigen** Periode gibt es bei geologischer Endlagerung thermische Auswirkungen in der Wirtsgestein. Durch die Wärmeabgabe des Abfalls erwärmt sich auch das Wirtsgestein. Bei Endlagerung in Ton werden die wasserführenden Schichten über der Wirtsgestein aber nicht so stark aufgewärmt, dass die Normen überschritten werden. Die thermischen Auswirkungen werden Hand in Hand mit einer allmählichen und homogenen Anhebung des Bodens über dem Endlager und in der weiteren Umgebung gehen (Größenordnung ca. 15 cm). Nach der thermischen Phase wird diese Auswirkung allmählich wieder verschwinden.

Bei Endlagerung in Tiefbohrungen hat die Wärmeabgabe des Abfalls viel geringeren Einfluss, da der Abstand zur Oberfläche größer ist und da die Temperatur des Wirtsgesteins in großer Tiefe viel höher liegt.

#### 4.3.2 Wasser

**Kurzfristig** werden die folgenden Auswirkungen untersucht:

- Auswirkungen auf Grundwasserspiegel und -strömungen
- Bildung von hydraulischem Kontakt zwischen verschiedenen Aquiferen (wasserführende Schichten)
- Austrocknung und Spitzenableitung durch zunehmende Befestigung

Anlagen für langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung können oberirdisch oder oberflächennah gebaut werden. Bei unterirdischer Lagerung kann es Auswirkungen auf

den Grundwasserspiegel und die Grundwasserströmung geben, die vom Umfang der Anlage, der Tiefe, der Ausführungsart der Arbeiten und vom Bodentyp abhängen. Bei geologischer Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen werden die wasserführenden Schichten über der Wirtsformation nur bei den Schächten bzw. den Bohrlöchern beeinflusst. Diese haben einen beschränkten Durchmesser und werden den Erwartungen nach keinen nennenswerten Einfluss auf die Grundwasserströmung haben. Entwässerung der oberflächennahen Aquifere ist während der Einrichtung im Prinzip nicht notwendig. Die Beurteilung der Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel und die Grundwasserströmung hängt von den ortsgebundenen Merkmalen des Wassersystems ab.

Hydraulischer Kontakt zwischen verschiedenen Aquiferen kann bei geologischer Endlagerung, bei Endlagerung in Tiefbohrungen oder (in geringerem Ausmaß) bei der unterirdischen Variante von langfristiger Lagerung oder dauerhafter Zwischenlagerung auftreten. Viel hängt aber davon ab, wie und wie sorgsam die Arbeiten ausgeführt werden. Bei korrekter Ausführung gibt es keine Auswirkungen.

Eine Zunahme der befestigten Oberfläche führt einerseits zu einer Austrocknung des Bodens, da das Regenwasser nicht mehr einsickern kann. Das Regenwasser wird schneller zum Oberflächenwasser abgeleitet. Bei Spitzenablauf können Überschwemmungen entstehen. Die zusätzliche befestigte Oberfläche ist den Erwartungen nach für langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung am größten (ca. 14,5 ha). Für geologische Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen wird weniger Befestigung erwartet (ca. 9 ha). Die zusätzliche Befestigung beim Status quo ist beschränkt (ca. 1 ha).

**Langfristig** werden die Auswirkungen auf die Nutzung von Grundwasser für die Trinkwasserproduktion betrachtet. Obwohl die künstlichen und (im Fall passiver Verwaltung) natürlichen Barrieren dafür sorgen, dass die Konzentration von Radionukliden im Grundwasser dermaßen beschränkt bleibt, dass keine Gefahr für die menschliche Gesundheit besteht, könnten die Behörden als äußerste Vorsichtsmaßnahme das Hochpumpen von Grundwasser in einer bestimmten Zone um den Standort verbieten.

## 4.4 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

### 4.4.1 Luft

In der SUP werden nur die kurzfristigen Auswirkungen auf die Luftqualität untersucht. Die wichtigsten Emissionsquellen sind der Transport, die Baumaschinen, der Umgang mit dem ausgegrabenen Material und die Produktion von Beton. Das impliziert, dass vor allem die Emissionen von NO<sub>2</sub>, Feinstaub (PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>) und wegfliegender und niederfallender Staub wichtig sind.

In der SUP (Kapitel 9) wird eine Schätzung der Anzahl LKW-Transporte für die Erdbewegung und den Antransport von Baumaterialien und Aufschüttungsmaterial angestellt. Die Gesamtanzahl der Transporte ist am höchsten für geologische Endlagerung, was auf die bedeutende Erdbewegung zurückzuführen ist. Die Anzahl der Transporte bei Endlagerung in Tiefbohrungen ist aufgrund der geringeren Erdbewegung niedriger. Für langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung ist die Anzahl der Transporte noch niedriger, da aber die Erdbewegung auf eine viel kürzere Periode konzentriert ist, führt dies vorübergehend zu höheren Emissionen als für Endlagerung. Diese Emissionen sind absolut gesehen aber beschränkt und führen nicht zu einer signifikanten Verschlechterung der Luftqualität.

Die Auswirkungen von wegfliegender und niederfallendem Staub beim Umgang mit dem ausgegrabenen Material hängen stark vom Wetter ab, können aber mit geeigneten

Maßnahmen (u.a. Anpassung der Geschwindigkeit der Fahrzeuge, Befeuchtung der Baustellenwege) beschränkt werden.

Beton kann angeliefert oder vor Ort produziert werden. In letzterem Fall müssen die Grundmaterialien (Sand, Kies und Zement) angeliefert werden. Der Unterschied liegt vor allem am Ort, wo die Emissionen aufgrund der Betonproduktion entstehen.

Bei Lagerung sind nach der Einbringung des Abfalls in die Anlage noch beschränkte Emissionen zu erwarten, u.a. durch Erwärmung der Gebäude. Diese Emissionen werden im Laufe der Zeit aber durch den technologischen Fortschritt abnehmen. Bei geologischer Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen muss nach der Einbringung des Abfalls noch Aufschüttungsmaterial antransportiert werden. Durch die Streuung über eine lange Periode werden aber geringe Auswirkungen erwartet.

#### **4.4.2 Lärm**

In der SUP werden nur die kurzfristigen Auswirkungen aufgrund von Lärm untersucht. Die wichtigsten Lärm produzierenden Tätigkeiten während der Errichtung sind die Erdbewegung und die Bohr- und Bauarbeiten. Nach der Errichtung sind der Antransport des radioaktiven Abfalls, der Umgang mit dem Abfall am Standort, die Einbringung in die Anlage und die Anbringung des Aufschüttungsmaterials relevant.

Der relativ kurze Zeitraum, über den die Erdbewegung bei langfristiger Lagerung oder dauerhafter Zwischenlagerung verteilt werden würde, kann zu negativen Lärmeinwirkungen für die Anlieger der Transportrouten führen. Eine Verteilung über einen längeren Zeitraum kann die Auswirkungen signifikant einschränken. Für geologische Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen ist die Gesamtanzahl an LKW-Bewegungen für Erdbewegung höher, aber die Arbeiten sind über einen viel längeren Zeitraum verteilt, sodass die Auswirkungen beschränkt sind.

Der Antransport von Grundmaterialien (Beton und Stahl für den Bau des Lagers) und Aufschüttungsmaterial führt den Erwartungen nach aufgrund der Verteilung über einen langen Zeitraum nicht zu signifikanter Lärmeinwirkung.

Der Umfang der Lärmbelästigung wird von der Umgebung abhängen, die von den Transporten durchquert wird. In Agrar- und Naturgebieten ist der Umgebungsschallpegel niedriger als in städtischen oder Industriegebieten, sodass die Wahrscheinlichkeit eines signifikanten Anstiegs des Schallpegels höher ist. Andererseits ist die Anzahl der Belästigten in dicht bevölkerten Gebieten (z.B. Städten und Dorfkernen) höher als in dünn besiedelten Gebieten.

#### **4.4.3 Radiologische Auswirkungen**

Die radiologischen Auswirkungen auf den Menschen können anhand der effektiven Dosis beschrieben werden. Das ist die Energiemenge, die durch die Strahlung pro Masseneinheit abgegeben wird, multipliziert mit Gewebe-Wichtungsfaktoren, die die Art der Strahlung und die verschiedenen Organe des menschlichen Körpers berücksichtigen. Die effektive Dosis wird in Sievert (Sv) ausgedrückt. Man arbeitet auch mit der effektiven Jahresdosis.

In Belgien wird die durchschnittliche effektive Jahresdosis auf 4,6 mSv geschätzt, wovon 2,5 mSv aus natürlichen Quellen und 2,1 mSv von verschiedenen Anwendungen ionisierender Strahlung stammen, vor allem in der Medizin. Die vorgeschriebenen Dosisgrenzwerte für ionisierende Strahlung basieren auf europäischen Richtlinien, die ihrerseits auf den Empfehlungen internationaler Institutionen beruhen. So beträgt der Grenzwert für die jährliche effektive Dosis für die Bevölkerung infolge von Belastung, außer

der natürlichen Strahlung und medizinischer Belastung 1 mSv. Für Arbeitnehmer in der Kernindustrie liegt dieser Grenzwert auf 20 mSv. In internationalen Empfehlungen wird für Verwaltungsanlagen ein Bezugswert von 0,1 bis 0,3 mSv/Jahr angeführt.

Genau wie für die radiologischen Auswirkungen auf Fauna und Flora (siehe Absatz 4.1.2) werden die radiologischen Auswirkungen auf den Menschen anhand der Wahrscheinlichkeit der Abwesenheit signifikanter Belastung qualitativ beschrieben.

**Kurzfristig** ist der Unterschied zwischen den Verwaltungsoptionen nicht groß. Man nimmt an, dass die Anlagen sowohl für Lagerung als auch für Endlagerung durch technische Verbesserungen einen besseren Schutz bieten, als die bestehenden Lagerungseinrichtungen. Für die Status-quo-Option kann die Wahrscheinlichkeit der Abwesenheit signifikanter Belastung aber auf Grundlage von Daten über die heutige Belastung und Routineausscheidungen als recht hoch betrachtet werden. Im Falle geologischer Endlagerung oder von Endlagerung in Tiefbohrungen ist ein Teil des Abfalls bis zum Ende der kurzfristigen Periode bereits unterirdisch endgelagert, was die Wahrscheinlichkeit einer signifikanten Belastung senkt.

Wenn vorab nukleare Spitzentechnologien (Abtrennung und Umwandlung, siehe Absatz 3.2.2) auf den abgebrannten Kernbrennstoff angewendet werden, sinkt die Radiotoxizität des Abfalls schneller, aber der Einfluss auf die radiologischen Auswirkungen der Endlagerung ist beschränkt.

Aktive Verwaltung führt **langfristig** zu einem signifikanten Gesundheitsrisiko für die Arbeitnehmer, da die konstante Kontrolle und die regelmäßige Konditionierung immer wieder zu Belastungen führen. Die Risiken für die Bevölkerung würden unter normalen Umständen jedoch beschränkt bleiben.

Die langfristigen radiologischen Auswirkungen von geologischer Endlagerung wurden in mehreren Ländern (u.a. Frankreich, Schweiz und Finnland) bereits untersucht. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen, dass die mögliche radiologische Belastung der Biosphäre infolge geologischer Endlagerung nicht größer wäre, als die Belastung im Zusammenhang mit der natürlichen Hintergrundstrahlung. Über die radiologischen Auswirkungen von Endlagerung in Tiefbohrungen ist wenig bekannt. Wir können aber davon ausgehen, dass die radiologischen Auswirkungen – bei Auswahl einer geeigneten Wirtsfornation und unter normalen Umständen – noch geringer sein können, als bei geologischer Endlagerung.

#### 4.4.4 Integration der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

In der SUP wird eine Beurteilung der Auswirkungen radiologischer Belastung auf die menschliche Gesundheit anhand einiger Parameter durchgeführt, die die Wahrscheinlichkeit der Belastung bestimmen:

- Stärke der Quelle
- Abstand zwischen Quelle und Empfänger (verbunden mit der Verwaltungsoption)
- Barrieren
- Wahrscheinlichkeit von Kontakten

Außerdem werden kurzfristig die Auswirkungen von Emissionen schädlicher Stoffe in der Luft und von Lärmemissionen auf die menschliche Gesundheit untersucht.

**Kurzfristig** wird die Stärke der Quelle gegenüber der heutigen Situation zunehmen, da der Betrieb der Kernkraftwerke zusammen mit anderen (u.a. medizinischen) Anwendungen in den kommenden Jahrzehnten zu zusätzlichem radioaktivem Abfall führen wird. Der Abstand

zwischen Quelle und Empfänger ist den Erwartungen nach für alle Verwaltungsoptionen recht gering, zumindest für die Arbeitnehmer, die während der operativen Phase für den Betrieb sorgen werden. Auch die künstlichen Barrieren sind für alle Verwaltungsoptionen gleichartig. Was die Wahrscheinlichkeit betrifft, mit den Menschen in Kontakt mit dem radioaktiven Abfall kommen, werden die nicht-definitiven Verwaltungsoptionen etwas negativer beurteilt, da die Anzahl der Transporte höher als bei den Verwaltungsoptionen mit endgültigem Charakter sein kann (z.B. wenn in einem späteren Stadium der Abfall in eine Anlage für endgültige Verwaltung transportiert werden muss). Insgesamt ergibt das eine etwas höhere Wahrscheinlichkeit der Belastungen für die nicht-definitiven Verwaltungsoptionen.

Die Auswirkungen der atmosphärischen Emissionen und der Lärmemissionen sind den Erwartungen nach bei Lagerung höher als bei Endlagerung, da die Bauarbeiten bei Endlagerung über einen längeren Zeitraum verteilt sind (siehe Absätze 4.4.1 und 4.4.2).

Bei aktiver Verwaltung nimmt die Abfallmenge **langfristig** zu, da die regelmäßige Konditionierung neuen radioaktiven Abfall erzeugt (siehe Absatz 3.1.1). Bei passiver Verwaltung bleibt die Abfallmenge im Prinzip unverändert. Die Aktivität des Abfalls nimmt langfristig ab. Der Abstand zwischen Quelle und Empfänger ist bei passiver Verwaltung durch die unterirdische Lage günstiger. Die Barrieren bieten den Erwartungen nach einen mindestens gleich guten Schutz wie in der heutigen Situation. Geologische Endlagerung hat den Vorteil, dass künstliche und natürliche Barrieren kombiniert werden. Die Wahrscheinlichkeit des Kontakts wird letztendlich für geologische Endlagerung und sicher für Endlagerung in Tiefbohrungen viel geringer eingeschätzt als für aktive Verwaltung. Insgesamt geht hieraus eine deutlich geringere Wahrscheinlichkeit der Belastung im Fall der passiven Verwaltung als im Fall der aktiven Verwaltung hervor.

## 4.5 Gesellschaftliche Aspekte

Die folgenden gesellschaftlichen Aspekte wurden untersucht:

- Funktionsveränderung: Verschwinden, Verändern, Einschränken, Zunehmen, Ermöglichen und zusätzliches Schaffen von Funktionen und Aktivitäten
- Erreichbarkeit/Zugänglichkeit: Einfluss auf die Mobilität
- Risikoperzeption
- Lebensqualität/Qualität des Lebensraums

Der Aspekt Funktionsveränderung wird durch den Platzbedarf bestimmt. Die Funktionen und Aktivitäten, die nun an dem Standort vorhanden sind, wo die Anlage eingerichtet wird, werden ganz oder teilweise verschwinden müssen. Der Platzbedarf ist für Endlagerung in Tiefbohrungen am größten (ca. 12,6 km<sup>2</sup>). Sicher im dicht besiedelten Belgien bedeutet das eine beträchtliche Auswirkung auf die vorhandenen Funktionen. Für geologische Endlagerung und langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung ist der Platzbedarf geringer (weniger als 1 km<sup>2</sup>). Der zusätzliche Platzbedarf, der bei Status quo für die Erweiterung der Kapazität der bestehenden Anlagen notwendig ist, wird als vernachlässigbar betrachtet. Aus gesellschaftlichem Blickwinkel sind die stärksten Auswirkungen einer Funktionsveränderung in einer städtischen und in geringerem Ausmaß auch in einer industriellen Umgebung zu erwarten.

Der Einfluss auf die Mobilität wird durch die Intensität des Transports während der Errichtung und des Betriebs bestimmt, aber auch durch die Wirkung der Barrieren, die vom Standort selbst ausgeht. Die Wirkung der Barrieren des Standorts ist für die Endlagerung in Tiefbohrungen am größten. Die Gesamtanzahl an LKW-Bewegungen während der Errichtung ist bei Endlagerung höher als bei Lagerung, aber durch die Verteilung über einen

längeren Zeitraum ist die Anzahl LKWs pro Zeiteinheit durchschnittlich niedriger. Die Behinderung der Mobilität wird in einer städtischen Umgebung am stärksten sein.

Die Öffentlichkeit ist der Ansicht, dass mit radioaktivem Abfall auf jeden Fall Risiken verbunden sind, ungeachtet der Verwaltungsoption. Die Status-quo-Option wird negativer bewertet, weil keine definitive Lösung ausgewählt wird und weil die Lebensdauer der Anlagen beschränkt ist. Anlagen für langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung haben eine längere Lebensdauer, aber diese Verwaltungsoptionen implizieren, dass ein neuer Standort eingerichtet wird, was zu Ängsten bei den Anliegern führen kann. Aus Befragungen geht hervor, dass die belgische Bevölkerung die geologische Endlagerung bevorzugt. Die vielen Unsicherheiten im Zusammenhang mit Endlagerung in Tiefbohrungen haben den Erwartungen nach negative Auswirkungen auf die Risikoperzeption.

Für die Auswirkungen auf die Lebensqualität in der Umgebung des Standorts ist die Belästigung durch die Arbeiten für die Errichtung entscheidend. Alle Verwaltungsoptionen werden u.a. durch Baustellenverkehr und Einsatz von Maschinen Belästigungen mit sich bringen. Die Belästigung wird in einer städtischen Umgebung am stärksten sein.

#### **4.6 Finanziell-ökonomische Aspekte**

Die folgenden Aspekte wurden untersucht:

- Kosten
- Kostendeckung und Finanzierung

Die Status-quo-Option impliziert, dass die Kosten der aktuellen Verwaltung zwar weiterlaufen, die Lagerungskapazität aber nur beschränkt erweitert wird. Für die anderen Verwaltungsoptionen müssen neue Anlagen errichtet werden. Die Errichtungskosten sind hoch für geologische Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen, aber nach der Schließung des Endlagers sind die Kosten gering (nur Überwachung). Bei dauerhafter Zwischenlagerung hingegen müssen die Anlagen alle 100 bis 300 Jahre neu gebaut werden und muss der Abfall regelmäßig nachkonditioniert werden. Das impliziert langfristig beträchtliche Kosten. Bei den nicht-definitiven Verwaltungsoptionen muss während der Entwicklung und Errichtung der Anlage der vorläufige Charakter der Lagerung berücksichtigt werden, was die Kosten erhöht.

In Bezug auf Kostendeckung und Finanzierung gibt es große Unterschiede zwischen den Verwaltungsoptionen. Bei geologischer Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen kann die heutige Generation die notwendigen Mittel anlegen, um die Verwaltung zu garantieren. Die Tatsache, dass das Endlager auf Dauer geschlossen wird, trägt zur Zuverlässigkeit dieser Lösung bei. Längerfristig stellen diese Verwaltungsoptionen geringe oder keine finanziellen Ansprüche. Bei dauerhafter Zwischenlagerung werden, wie oben gesagt, auch in der Zukunft stets ausreichende Mittel für den Neubau der Anlagen und die Nachkonditionierung des Abfalls verfügbar sein müssen. In der Praxis erweist es sich als unmöglich, zurzeit die notwendigen Mittel vorzusehen und ihre Verfügbarkeit längerfristig zu garantieren für ein Projekt, das „unendlich lange“ dauert. Die nicht-definitiven Verwaltungsoptionen schließlich wälzen beträchtliche finanzielle Lasten auf die folgenden Generationen ab. Durch die Verschiebung des Zeithorizonts nimmt die Unsicherheit über die Mittel zu. Außerdem muss in der Zukunft noch eine Verwaltungsoption mit endgültigem Charakter finanziert werden.

## 4.7 Ethische Aspekte

Der lange Zeithorizont, die Komplexität, der Umfang der möglichen Auswirkungen auf die Gesellschaft und die Unsicherheiten sind inhärent und verbunden mit der Auswahl und der Implementierung einer Verwaltungsoption für langlebigen und/oder hochaktiven Abfall. Daher geht es um eine Grundsatzentscheidung, die für die Gesellschaft tiefgreifend ist und die nicht nur wissenschaftlich untermauert werden kann. Ethik kann dafür einen zusätzlichen Beurteilungsrahmen bieten. Der ethische Standpunkt kann die Argumentation aus der gesellschaftlichen Debatte nicht erklären oder verdeutlichen, kann aber begreiflich machen, ob diese Argumente ethisch vertretbar oder mit anderen Worten gerecht sind.

Die folgenden ethischen Grundsätze werden im Kontext der Verwaltung von hoch radioaktivem und/oder langlebigem Abfall als relevant betrachtet:

- Das **Vorsorgeprinzip** besagt, dass die Ermangelung vollständiger wissenschaftlicher Sicherheit nicht als Argument für den Aufschub von Maßnahmen verwendet werden darf. Es kann als vorläufiger Grundsatz für den Umgang mit Risiken verwendet werden.
- **Nachhaltige Entwicklung** ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der heutigen Generationen erfüllt, ohne die Möglichkeiten der zukünftigen Generationen einzuschränken, dasselbe zu tun. Nachhaltige Entwicklung wird in der Regel anhand der drei Pfeiler Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft betrachtet.
- **Intragenerationelle Gerechtigkeit** bezieht sich auf die gerechte Verteilung der Vor- und Nachteile über die verschiedenen Gruppen und Individuen in der Gesellschaft.
- **Intergenerationelle Gerechtigkeit** impliziert Gerechtigkeit gegenüber den zukünftigen Generationen.

Internationale Organisationen wie die IAEO und die NEA der OECD gestalten ihren Standpunkt über die Langzeitverwaltung anhand solcher ethischer Grundsätze. Auch die Argumente pro und contra Rückholbarkeit werden mit ethischen Standpunkten untermauert (siehe Kapitel 9 der SUP).

Geologische Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen sind durch das Vorsorgeprinzip gut zu untermauern. Es handelt sich um passive Verwaltungsoptionen, die längerfristig autonom ohne menschliche Eingriffe funktionieren können, wenn eine geeignete Wirtsfornation ausgewählt wird. Dennoch sind die technologischen Unsicherheiten bei Endlagerung in Tiefbohrungen noch groß. Bei dauerhafter Zwischenlagerung können die notwendigen Vorsorgemaßnahmen im Prinzip getroffen werden, aber der Schutz von Mensch und Umwelt kann nur garantiert werden, wenn die Gesellschaft stabil genug bleibt, damit das Wissen erhalten bleibt und angewendet wird. Die negativen Auswirkungen ungünstiger gesellschaftlicher Entwicklungen sind schwer zu vermeiden. Die nicht-definitiven Verwaltungsoptionen und die Status-quo-Option stehen im Widerspruch zum Vorsorgeprinzip: Die Entscheidung über die Langzeitverwaltung wird aufgeschoben, während doch Lösungen entwickelt und ausgearbeitet werden können.

Ausgehend vom Prinzip der nachhaltigen Entwicklung werden geologische Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen bevorzugt. Hier werden möglichst wenige Lasten auf die zukünftigen Generationen abgewälzt. Dauerhafte Zwischenlagerung impliziert eine Zunahme der Abfallmenge und verlangt alle 100 bis 300 Jahren den Bau einer neuen Anlage. Man kann also sagen, dass diese Verwaltungsoption nicht zu einer nachhaltigen Nutzung der natürlichen Hilfsquellen beiträgt. Die nicht-definitiven Verwaltungsoptionen können den Vorteil haben, dass neue Technologien zu einer nachhaltigeren definitiven Lösung führen können. Es werden aber beträchtliche Lasten auf zukünftige Generationen abgewälzt. Die Status-quo-Option schließlich wird nicht als nachhaltig betrachtet, weil die heutige

Generation ihre Verantwortung gegenüber den zukünftigen Generationen nicht auf sich nimmt.

Geologische Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen stimmen am besten mit dem Prinzip der intragenerationellen Gerechtigkeit überein. Es ist möglich, innerhalb der heutigen Generation für die notwendige Finanzierung zu sorgen. Die Kosten werden also in erster Instanz durch die Verursacher getragen (insbesondere durch die Produzenten von Elektrizität aus Kernenergie). Für dauerhafte Zwischenlagerung können die notwendigen Mittel in der Praxis nun nicht angelegt werden, weil die Kosten offen stehen. Das kann dazu führen, dass die Kosten in der Zukunft auf Menschen abgewälzt werden, die die Vorteile von Kernenergie nicht gekannt haben. Die nicht-definitiven Verwaltungsoptionen haben dasselbe Problem, aber der Aufschub der Entscheidung kann durchaus für die notwendige Zeit sorgen, um eine breitere gesellschaftliche Grundlage herbeizuführen.

In Bezug auf die intergenerationelle Gerechtigkeit kann behauptet werden, dass geologische Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen möglichst wenige Lasten auf die zukünftigen Generationen abwälzen, dass aber die Flexibilität beschränkt ist. Dauerhafte Zwischenlagerung bietet zwar Flexibilität, wälzt aber längerfristig inakzeptable Risiken auf die zukünftigen Generationen ab.

#### 4.8 Sicherheit und Sicherungsmaßnahmen (Safeguards)

Sicherheit bezweckt die Vermeidung böswilliger Handlungen gegen radioaktives Material oder Kernanlagen. Bis in die 90er Jahre konzentrierte sich Sicherheit demzufolge vor allem auf die Vermeidung von Diebstahl und Verbreitung von Kernmaterial, das in Atomwaffen verwendet werden könnte. Während des vergangenen Jahrzehnts wurde man sich aber dessen bewusst, dass böswillige Handlungen auch radioaktives Material, das nicht notwendigerweise zur Herstellung von Atomwaffen geeignet ist, verwenden können, oder gegen Anlagen gerichtet sein können, in denen solches Material vorhanden ist. Sicherheit wird als nationale Angelegenheit betrachtet. Dennoch haben einzelne Länder im Laufe der Zeit verbindliche internationale Vereinbarungen geschlossen.

Der Begriff „Sicherungsmaßnahmen“ bezieht sich auf die Sicherheitskontrolle durch die IAEO, die die Nicht-Atomwaffenstaaten laut dem Atomwaffensperrvertrag zulassen müssen. Sicherungsmaßnahmen gelten für Kernmaterial, das zur Herstellung von Atomwaffen verwendet werden kann. Die IAEO kann die Buchhaltung kontrollieren, aber auch unabhängige Messungen durchführen oder Ausrüstung inspizieren. Auf Grundlage der Kontrollen beurteilt die IAEO, ob Hinweise auf Entwendung von gemeldetem Kernmaterial für nicht friedliche Zwecke vorliegen und ob es Hinweise auf nicht gemeldetes Kernmaterial oder nicht gemeldete nukleare Aktivitäten gibt. EURATOM führt ebenfalls Sicherheitskontrollen durch.

Alle Verwaltungsoptionen erfordern während der **kurzfristigen** Periode Transport und Nachkonditionierung (d.h. Verwaltung und Wiederverpackung des Abfalls). Transport wird durch die IAEO als jene Phase betrachtet, während der Kernmaterial am anfälligsten für Diebstahl oder Sabotage ist. Eine Anlage zur Nachkonditionierung ist als Ziel weniger attraktiv, u.a. weil nur wenig Kernmaterial vorhanden ist. Während der Nachkonditionierung sind durchaus mehrere Möglichkeiten denkbar, um Kernmaterial zu entwenden. Inspektionen der Sicherungsmaßnahmen können aber mit bekannten Techniken erfolgen (u.a. visuelle Inspektion, Videoüberwachung, Kontrolle von Abmessungen). Geschlossene Behälter können in der Praxis schwer inspiziert werden, aber eine Kontrolle anhand von Siegeln ist durchaus möglich.

Ein geologisches Endlager ist wegen der unterirdischen Lage weniger attraktiv als Ziel böswilliger Handlungen als eine Nachkonditionierungsanlage. Dennoch wird empfohlen, den

Standort mit u.a. physischen Barrieren, Sensoren und Zugangskontrolle gut zu sichern. Dasselbe gilt für Endlagerung in Tiefbohrungen. Oberirdische Lagerstätten sind gefährdeter als unterirdische Lagerstätten, sind aber durch das hohe Ausmaß an Schutz, das durch die Verpackung und die Gebäude an einem geschlossenen Standort geboten wird, trotzdem nicht besonders attraktiv als Ziel böswilliger Handlungen.

Die Techniken für Sicherungsmaßnahmen in einem Lager sind bekannt und bewährt. Für eine geologische Endlagereinrichtung sind aber völlig andere Techniken erforderlich. Die Behälter können nicht mehr inspiziert werden, nachdem sie in die Anlage eingebracht wurden, wodurch man sich z.B. auf Siegel an den Gängen oder Schächten verlassen muss. Fortgeschrittenere Techniken sind u.a. Satellitenüberwachung (z.B. für die Suche nach nicht gemeldeten Bergbauaktivitäten), Messungen von seismischen Signalen, Messungen von Umweltparametern in der Umgebung. Diese Techniken sind noch in Entwicklung. Für Endlagerung in Tiefbohrungen sind Sicherungsmaßnahmen noch komplexer als für geologische Endlagerung.

**Langfristig** gilt für aktive Verwaltung dasselbe wie kurzfristig: es handelt sich um ein Lager, das durch böswillige Handlungen einigermaßen gefährdet ist, im Rahmen von Sicherungsmaßnahmen aber gut kontrolliert werden kann. Bei passiver Verwaltung werden die künstlichen Barrieren im Laufe der Zeit schwächer und muss das Wirtsgestein die Sicherungsfunktion übernehmen. Ein völlig geschlossenes geologisches Endlager oder völlig geschlossene Tiefbohrungen sind aber als Ziel für böswillige Handlungen noch weniger attraktiv als ein Endlager, das noch betrieben wird. Sicherungsmaßnahmen sind mit klassischen Techniken nicht möglich und sind daher komplexer als bei aktiver Verwaltung, aber der technologische Fortschritt oder eine eventuelle Lockerung der Anforderungen bzgl. Sicherungsmaßnahmen durch die IAEO, z.B. wegen der Unzugänglichkeit eines verschlossenen Endlagers, können das verändern.

## 5. ROBUSTHEIT DER VERWALTUNGSOPTIONEN

In diesem Kapitel wird die Robustheit der Verwaltungsoptionen beurteilt (siehe Absatz 2.3.3 zur Definition dieses Begriffs). Nähere Details finden Sie in Kapitel 10 der SUP.

### 5.1 Robustheit gegenüber natürlichen Entwicklungen

**Kurzfristig** ist der Unterschied zwischen den Verwaltungsoptionen nicht besonders groß: es geht in allen Fällen um eine operative Phase. Die Robustheit der Status-quo-Option gegenüber natürlichen Entwicklungen wird durch die bestehenden Lagergebäude bestimmt. Bei der Planung wurden die zu erwartenden natürlichen Entwicklungen berücksichtigt. Die Gebäude haben aber nur eine Lebensdauer von 75 Jahren, die zum Teil schon verstrichen sind. Es ist also die Frage, ob die Gebäude in 100 Jahren noch den nötigen Schutz bieten. Die notwendigen Maßnahmen werden getroffen werden müssen, um die Integrität der Gebäude sicherzustellen. Bei unerwarteten, nicht berücksichtigten natürlichen Entwicklungen (z.B. Überschwemmungen) gibt es die Möglichkeit, den Abfall in eine andere Anlage zu befördern, zumindest wenn diese Entwicklungen allmählich eintreten.

Für langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung werden Gebäude mit einer Lebensdauer von mindestens 100 Jahren vorgesehen. Auch die Standortwahl kann optimiert werden, z.B. im Hinblick auf den Schutz vor Überschwemmungen. Dadurch scheint die Wahrscheinlichkeit eine signifikanten Belastung von Mensch und Umwelt geringer als für die Status-quo-Option.

Bei geologischer Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen erfüllen die oberirdischen Anlagen dieselben Anforderungen wie bei langfristiger Lagerung oder dauerhafter Zwischenlagerung. Die Tatsache, dass am Ende der kurzfristigen Periode (d.h. nach ca. 100 Jahren) ein Teil des Abfalls bereits unterirdisch gelagert ist, wird als ein Vorteil betrachtet: das senkt das Belastungsrisiko. Das Wirtsgestein wird so ausgewählt, dass es möglichst wenig durch seismische oder tektonische Aktivität beeinflusst wird.

Dauerhafte Zwischenlagerung hat **langfristig** dieselben Merkmale wie kurzfristig, da es sich um aufeinander folgende Langzeitlagerungszyklen (100 bis 300 Jahre) handelt. Abfallkonditionierungsformen und Lagergebäude werden wahrscheinlich optimiert oder angepasst werden, sodass zu erwarten ist, dass die Routineemissionen eher ab- als zunehmen. Im Laufe der Zeit kann es natürliche Entwicklungen geben, die heute schwer vorherzusagen sind. Die Tatsache, dass die Anlage alle 100 bis 300 Jahre neu gebaut werden muss, bietet aber die Möglichkeit, dem Entwurf andere oder zusätzliche Bedingungen aufzuerlegen. Auch die Auswahl des Standorts kann bei Bedarf revidiert werden (z.B. wenn der ursprüngliche Standort durch einen Anstieg des Meeresspiegels bedroht wird).

Bei passiver Verwaltung wird die Sicherheit langfristig durch das Wirtsgestein gewährleistet. Eine Reihe natürlicher Entwicklungen hat nur an der Oberfläche oder bis zu einer gewissen Tiefe Auswirkungen (z.B. Orkane, Überschwemmungen, Anstieg des Meeresspiegels, Erosion). Für die meisten dieser Phänomene werden die Auswirkungen auf einige Dutzend Meter oder bis zu den wasserführenden Schichten beschränkt. Geologische Phänomene im Untergrund (z.B. Gebirgsbildung) verlaufen extrem langsam. Wenn sich diese Entwicklung seit Millionen Jahren als stabil erweist und die geologische Geschichte (die gut bekannt ist) keine Hinweise liefert, dass dieser stationäre Zustand zur Diskussion gestellt werden muss, wird es für möglich gehalten, die zukünftige Entwicklung über einige hunderttausend Jahre einzuschätzen. Das gilt für den Boomschen Ton und den Yperschen Ton, die Formationen, die in Belgien als potenzielle Wirtsformationen zur geologischen Endlagerung untersucht werden. Eine tiefe Wirtsformation, die als stabil anerkannt wird, wird physische und

chemische Verhältnisse gewährleisten, die über hunderttausende Jahre relativ unverändert bleiben. Die Stabilität äußert sich durch eine geringe Wahrscheinlichkeit seismischer oder vulkanischer Aktivität, durch hydrogeologische Eigenschaften, die der Wasserzirkulation entgegenwirken und durch mechanische Eigenschaften, die vorteilhaft sind für den Bau, den Betrieb und die Schließung eines Endlagers. Dank des stabilen Kontextes wird die Wirtsfornation nur begrenzt durch die Geosphäre sowie Oberfläche beeinflusst werden, infolgedessen sie die Einrichtung und den Abfall gegen diese Einflüsse abschirmt.

Bei geologischer Endlagerung muss die Wirtsfornation den Kontakt von Wasser mit dem Abfall verzögern oder beschränken. Im Fall eines Endlagers in einer Tonformation ist die Anlage so konzipiert und gebaut, dass sie zehntausende Jahre lang beständig ist gegen Korrosion durch Wasser und den Einschluss der Radionuklide sicherstellt. Außerdem werden Radionuklide im Ton festgehalten.

Trotz der sehr geringen Wahrscheinlichkeit werden dennoch aus Vorsorge Szenarien der Aktivierung eines Bruchs im Wirtsgestein untersucht. Diese Studien haben gezeigt, dass die radiologischen Auswirkungen in derselben Größenordnung bleiben wie unter normalen Umständen. Das ist der Plastizität des Tons zu verdanken, die dafür sorgt, dass sich eventuelle Brüche und Risse schnell wieder verschließen.

Die Theorien über langfristige Klimaveränderung sagen in den kommenden 800.000 Jahren keine extreme Eiszeit voraus. In den kommenden hunderttausenden Jahren werden aber einige Eiszeiten erwartet, die mit der Weichsel-Eiszeit (vor 20.000 Jahren) vergleichbar sind. Während dieser Eiszeit wurde Belgien nicht durch Inlandeis bedeckt. Sogar während extremer Eiszeiten wird es laut den Modellen in Belgien keine Gletscher geben. Außerdem müssten die Eiszeiten zumindest während der kommenden hunderttausend Jahre durch den Treibhauseffekt sehr beschränkt sein.

Aus den oben beschriebenen Studien geht also hervor, dass es sehr unwahrscheinlich ist, dass natürliche Veränderungen die radiologische Belastung für Mensch und Umwelt im Fall geologischer Endlagerung in schwach verfestigtem Ton erhöhen würden.

In Bezug auf die oberflächennahen natürlichen Phänomene kann für Endlagerung in Tiefbohrungen dieselbe Schlussfolgerung gezogen werden. Untersuchungen in Schweden zeigen, dass extreme natürliche Phänomene in großer Tiefe einen größeren Einfluss haben können. So könnte das stagnierende Grundwasser in großer Tiefe durch eine Eiszeit mobilisiert werden. In Belgien wird aber in den kommenden 800.000 keine extreme Eiszeit erwartet. Ferner gibt es wenig Wissen über die Eigenschaften der möglichen Wirtsgesteine zur Endlagerung in Tiefbohrungen in Belgien und über die Art, auf die diese längerfristig durch natürliche Entwicklungen beeinflusst werden können. Die Unsicherheit ist also größer als bei geologischer Endlagerung.

## **5.2 Robustheit gegenüber Veränderungen in der intrinsischen physischen und technischen Stabilität**

Die bestehenden Lagergebäude haben eine Lebensdauer von 75 Jahren, die zum Teil schon vergangen sind. Das bedeutet, dass die Gebäude möglicherweise bis zum Ende der **kurzfristigen** Periode ihre Schutzfunktionen verlieren. Auch die Konditionierung des Abfalls ist nicht auf eine Lebensdauer von mindestens 100 Jahren berechnet. Das kann zu einem erhöhten Belastungsrisiko führen, wenn keine Maßnahmen ergriffen werden.

Für langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung werden Gebäude mit einer Lebensdauer von mindestens 100 Jahren vorgesehen. Die Behälter müssten ebenfalls eine

Lebensdauer von mehreren hundert Jahren haben können. Das Risiko für Freisetzung von Radionukliden durch die Zersetzung der künstlichen Barrieren ist also sehr gering.

Während der Zeit, in der die Behälter sich noch an der Oberfläche befinden, gilt für geologische Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen dasselbe wie für Lagerung. Die Tatsache, dass am Ende der kurzfristigen Periode ein Teil des Abfalls bereits unterirdisch gelagert ist, wird als ein Vorteil betrachtet. Die Superbehälter (für Abfall der Kategorie C) und Monolithblöcke (für Abfall der Kategorie B) wurden für eine viel längere Lebensdauer als 100 Jahre unter den zu erwartenden Umständen im geologischen Endlager entwickelt. Mit den notwendigen Maßnahmen ist es möglich, u.a. Gasentwicklung in der Anlage maximal zu beschränken.

Die Robustheit von Endlagerung in Tiefbohrungen wird aufgrund der Unsicherheiten bzgl. der Technik als etwas geringer eingeschätzt als für geologische Endlagerung. Die Behälter können bei der Einbringung ins Bohrloch an einer ungünstigen Stelle stecken bleiben. Dabei können sie beschädigt werden. Wenn das in geringer Tiefe und in der Nähe von Brüchen und wasserführenden Schichten geschieht, kann das zu einer erhöhten Belastung von Mensch und Umwelt führen.

**Langfristig** bieten die Behälter und die Gebäude für dauerhafte Zwischenlagerung im Prinzip denselben Schutz wie kurzfristig. Die Integrität der Anlage wird jeweils für eine Lebensdauer von einigen hundert Jahren gewährleistet. Zu Beginn jedes Langzeitlagerungszyklus muss der Abfall nachkonditioniert werden. Dabei kann man davon ausgehen, dass das Personal einer bestimmten Dosis ausgesetzt wird, auch wenn diese unter den geltenden Grenzwerten liegt. Das United States Department of Energy schätzt, dass im Fall einer Beibehaltung der institutionellen Kontrolle über den Zeitraum von 100 bis 10.000 Jahren nach der Inbetriebnahme des Lagers infolge von radiologischer Belastung 10 Opfer unter den Arbeitnehmern und 3 Opfer unter der Bevölkerung zu beklagen sein werden.

Die Verfall der künstlichen Barrieren bei geologischer Endlagerung ist unvermeidlich, aber sehr langsam und durch die gut charakterisierte und geologisch stabile Umgebung gut zu beherrschen. In den Dossiers von POSIVA (Finnland), SKB (Schweden), NAGRA (Schweiz), ANDRA (Frankreich) und NERAS werden künstliche Barrieren besprochen, die den Einschluss von Radionukliden während tausender bis zehntausender Jahre gewährleisten. Eine schlechte Abdichtung von Gängen und Schächten hat, bei guter Auswahl des Wirtsgesteins, nur minimale Auswirkungen. Beschleunigte Korrosion und Schwächung der Behälter werden auch nicht zu einer erhöhten Belastung führen, da die dicke Tonschicht die wichtigste Barriere ist.

Bei Endlagerung in Tiefbohrungen kann ein Behälter an einer ungünstigen Stelle stecken bleiben und beschädigt werden. Die hohe Temperatur und der Druck in großer Tiefe sowie der hohe Salzgehalt des Grundwassers können zu einer beschleunigten Desintegration des Aufschüttungsmaterials und des Behälters führen. Auch gelockerte Felsbrocken können den Behälter beschädigen. Daher ist Endlagerung in Tiefbohrungen eher ein Ein-Barriere-System: längerfristig bildet nur die darüber liegende Gesteinsmasse noch eine Barriere. Bei Beschädigung des Bohrlochs, des Aufschüttungsmaterials und des Abfallbehälters kann das Bohrloch für Radionuklide eine Transportroute bilden, um zur Oberfläche zu wandern, mit als Folge eine erhöhte Belastung von Mensch und Natur.

### 5.3 Robustheit gegenüber externen nicht-natürlichen Ereignissen

Die heutigen Lagergebäude sind gegen bestimmte externe nicht-natürliche Ereignisse beständig, die sich **kurzfristig** ereignen könnten, wie beispielsweise ein Flugzeugabsturz. Die Gebäude sind aber nur für eine Lebensdauer von 75 Jahren konzipiert, sodass es unsicher ist, ob sie am Ende der kurzfristigen Periode noch den notwendigen Schutz bieten werden. Ein angepasstes Inspektions- und Instandhaltungsprogramm kann für eine Lösung sorgen, aber das würde umfangreiche Änderungen an den heutigen Anlagen erfordern.

Die Gebäude für langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung wurden konzipiert, um ungünstigen externen Einflüssen über mindestens 100 Jahre standzuhalten. Wenn das Gebäude beschädigt wird, sorgt der Abfallbehälter noch für den Einschluss von Radionukliden. Forschung zeigt, dass die Strahlungs-dosis in allerlei Unfallszenarien (z.B. Flugzeugabsturz) beschränkt bleiben würde. Die Wahrscheinlichkeit einer Belastung wird dadurch für geringer gehalten als für die Status-quo-Option.

Für die oberirdischen Anlagen bei geologischer Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen (z.B. Nachkonditionierung) gilt dasselbe. Die Tatsache, dass am Ende der kurzfristigen Periode ein Teil des Abfalls bereits unterirdisch gelagert ist, wird als ein Vorteil betrachtet. Externe nicht-natürliche Ereignisse sind nämlich menschlichen Ursprungs und wirken sich in der Regel Oberirdisch aus. Die Wahrscheinlichkeit radiologischer Belastung von Mensch und Natur sinkt also gleichsam proportional mit dem Anteil des Abfalls, der sich noch übertage befindet. Eine unabsichtliche Sondierungsbohrung quer durch das Endlager ist kurzfristig sehr unwahrscheinlich, da der Standort durch die Anwesenheit der Übertageanlagen noch bekannt sein wird. Um die Wahrscheinlichkeit einer solchen Sondierungsbohrung zu beschränken, entscheidet man sich am besten für einen Standort in einer Region, wo keine wertvollen abbaubaren Rohstoffe im tiefen Untergrund vorhanden sind.

**Langfristig** bieten die Anlagen für dauerhafte Zwischenlagerung im Prinzip denselben Schutz gegen ungünstige externe Einflüsse wie kurzfristig. Es ist nahezu unmöglich, die Entwicklung solcher Ereignisse langfristig einzuschätzen. Bei einer korrekt ausgeführten aktiven Verwaltung können wir aber davon ausgehen, dass jeder Entwurf die Situation zu dem Zeitpunkt berücksichtigen wird. Zwischenzeitliche Entwicklungen können durch zwischenzeitliche Anpassungen aufgefangen werden.

Externe nicht-natürliche Ereignisse scheinen nur beschränkte Auswirkungen auf ein völlig geschlossenes geologisches Endlager zu haben. Bei einer Bohrung durch die Anlage wird mit den Eigenschaften des Wirtsgesteins gerechnet, um die Verbreitung von Radionukliden zu vermeiden. Dank der Plastizität des Tons schließen Öffnungen sich sehr schnell, sodass die natürliche Barriere wiederhergestellt wird. Nur für Personen, die in Kontakt mit Radionukliden in den Bohrkernen kommen, kann es signifikante Auswirkungen geben. Um die Wahrscheinlichkeit einer solchen Sondierungsbohrung zu beschränken, entscheidet man sich am besten für einen Standort in einer Region, wo keine wertvollen abbaubaren Rohstoffe im tiefen Untergrund vorhanden sind.

Die Auswirkungen solcher externer nicht-natürlicher Ereignisse scheinen für Endlagerung in Tiefbohrungen durch die große Tiefe noch geringer als für geologische Endlagerung.

### 5.4 Gesellschaftliche Robustheit

**Kurzfristig** erfordern alle Verwaltungsoptionen menschliche Handlungen, um den Schutz von Mensch und Umwelt zu garantieren. Dadurch sind sie anfällig für gesellschaftliche Veränderungen. Jahre ohne fachkundige Verwaltung könnten zu einer allmählichen Schwächung der Übertageanlagen führen, sodass der Einschluss der Radionuklide nicht

mehr garantiert ist, was möglicherweise zu erhöhten Emissionen und Auswirkungen auf Mensch und Umwelt führt. Dennoch scheint es recht unwahrscheinlich, dass die Verwaltung kurzfristig wegfällt. Bei extremer gesellschaftlicher Instabilität (z.B. Kriege, Terroranschläge) kann es schwierig werden, die Sicherheit der Anlage zu garantieren.

Bei geologischer Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen ist sich ein Teil des Abfalls am Ende der kurzfristigen Periode bereits unterirdisch gelagert. Das wird als günstig beurteilt. Der Einfluss gesellschaftlicher Entwicklungen auf die Leistung eines geologischen Endlagerung und damit auf die radiologische Belastung von Mensch und Natur wird nämlich für beschränkt gehalten. Bei Endlagerung in Tiefbohrungen können gesellschaftliche Entwicklungen vernünftigerweise keinen Einfluss mehr auf den bereits endgelagerten Abfall haben.

Im Fall von Lagerung kann der Abfall stets zurückgeholt und in eine andere Anlage befördert werden, wenn man feststellt, dass die Verwaltung nicht mehr genug Schutz bietet. Aber solche Entscheidungen und Handlungen sind nur in einer ausreichend stabilen Gesellschaft möglich, in der das technische Wissen erhalten geblieben ist. Auch bei geologischer Endlagerung ist es während der operativen Phase möglich, den Abfall zurückzuholen, jedoch unter der Bedingung, dass das notwendige Wissen vorhanden ist. Der Schwierigkeitsgrad und die Kosten steigen jedoch in dem Maße, wie das Endlager gefüllt und geschlossen wird. Rückholbarkeit ist bei Endlagerung in Tiefbohrungen nicht mehr möglich.

**Langfristig** wird es sicher gesellschaftliche Veränderungen geben. Es ist unsicher, ob die finanziellen Mittel bleibend vorhanden sein werden, um eine gute Verwaltung zu garantieren. Bei einschneidenden Veränderungen in der Gesellschaft kann die aktive Verwaltung mangelhaft werden oder sogar ganz wegfallen, was zu inakzeptablen Folgen für Mensch und Natur führen kann.

Die anderen Aspekte der Robustheit der Verwaltungsoption dauerhafte Zwischenlagerung beweisen die Notwendigkeit der institutionellen Kontrolle. Das United States Department of Energy schätzt die Anzahl der Opfer in der Bevölkerung langfristig (100 bis 10.000 Jahre nach der Inbetriebnahme) etwa auf 3.300, wenn die institutionelle Kontrolle - aus gleich welchem Grund - nach der kurzfristigen Periode enden sollte. Zum Vergleich: wenn die institutionelle Kontrolle aufrecht erhalten bleibt, werden nur 10 Opfer bei den Arbeitnehmern und 3 Opfer in der Bevölkerung erwartet. Bei einem kompletten Verlust des Schutzes kommt man in bestimmten Fällen sogar zu akut tödlichen Dosen, was natürlich inakzeptabel ist. Dauerhafte Zwischenlagerung ohne dauerhafte institutionelle Kontrolle ist demzufolge ausgeschlossen.

Bei passiver Verwaltung sind keine menschlichen Handlungen notwendig, um den Schutz von Mensch und Umwelt zu garantieren. Der Einfluss von gesellschaftlichen Entwicklungen auf die Leistung eines Endlagerungssystems und somit auf die radiologische Exposition von Mensch und Natur wird für sehr gering gehalten, sicher im Vergleich zu aktiver Verwaltung an der Oberfläche.

## 6. **BESCHLUSS**

Diese Strategische Umweltprüfung (SUP) unterstützt eine Grundsatzentscheidung über die Langzeitverwaltung von hochaktivem und/oder langlebigem Abfall. Die Auswirkungen einiger Verwaltungsoptionen für die kurzfristige Periode (die ersten hundert Jahre) und die langfristige Periode (bis zehntausende oder hunderttausende Jahre) auf Mensch und Umwelt werden beschrieben und beurteilt. Nicht nur die Auswirkungen auf die Umwelt im engeren Sinne, sondern auch gesellschaftliche, wirtschaftliche und ethische Aspekte werden betrachtet. Die Beurteilung stützt sich auf einer breiten nationalen und internationalen Wissensbasis.

Durch das strategische Niveau der zu treffenden Grundsatzentscheidung hat auch diese SUP strategischen Charakter. Das bedeutet, dass die Verwaltungsoptionen noch nicht sehr detailliert beschrieben sind und dass der Standort nicht feststeht. Dadurch ist die Beschreibung und Beurteilung der Auswirkungen vor allem qualitativ und kann nicht auf präziser Kenntnis über die Wirtsumgebung fußen. Ausführlichere Aussagen über den Umfang der Auswirkungen sind erst in späteren Stadien an der Reihe, wenn Umweltprüfungen für bestimmte Standorte und/oder Ausführungsvarianten erstellt werden. Dennoch erlaubt die Beurteilung der Auswirkungen auf strategischem Niveau bereits jetzt einige Schlussfolgerungen über die verschiedenen Verwaltungsoptionen.

### *Radiologische Auswirkungen*

Die kurzfristigen radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Natur sind den Erwartungen nach unter normalen Umständen sehr beschränkt und sind für alle Verwaltungsoptionen gleichartig. Nur die Status-quo-Option ist leistungsschwächer, weil die Lebensdauer der bestehenden Lager und Konditionierungsformen beschränkt ist.

Langfristig ist unter normalen Umständen keine hohe Wahrscheinlichkeit signifikanter Belastung zu erwarten. Bei aktiver Verwaltung bieten die künstlichen Barrieren und fachkundige Verwaltung den nötigen Schutz. Bei passiver Verwaltung sorgt die Wirtsumgebung für Sicherheit.

Die Unterschiede zwischen den Verwaltungsoptionen werden deutlicher, wenn man die Robustheit betrachtet, m. a. W. das Ausmaß, in dem die Verwaltungsoptionen allerlei Veränderungen standhalten. Kurzfristig sind die Unterschiede noch nicht sehr groß; eine geringere Robustheit ist durch die beschränkte Lebensdauer der Lagerungseinrichtungen (Status-quo-Option) oder durch technologische Unsicherheiten (Endlagerung in Tiefbohrungen) zu erklären. Vor allem gesellschaftliche Veränderungen können kurzfristig einen ungünstigen Einfluss auf die Verwaltungsoptionen haben.

Langfristig ist passive Verwaltung (d.h. Endlagerung) sehr robust. Natürliche Entwicklungen, Veränderungen an der Anlage selbst, externe nicht-natürliche Ereignisse oder gesellschaftliche Entwicklungen haben wenig bis keinen Einfluss auf geologische Endlagerung oder Endlagerung in Tiefbohrungen. Aktive Verwaltung (dauerhafte Zwischenlagerung) ist gesellschaftlichen Veränderungen gegenüber aber viel anfälliger. Ohne fachkundige menschliche Handlungen ist die Wahrscheinlichkeit signifikanter Belastung hoch. Auch die regelmäßige Konditionierung bringt immer eine gewisse Belastung für die Arbeitnehmer mit sich.

### *Auswirkungen der Errichtung*

Alle Verwaltungsoptionen werden kurzfristig signifikante Auswirkungen auf die Umwelt haben. Es handelt sich schließlich um große Bauprojekte, für die ein Standort von

mindestens einigen Dutzend Hektar einschneidend verändert wird. Die Störung des Bodens, der Fauna und der Flora, der Landschaft und der vorhandenen menschlichen Aktivitäten ist beträchtlich. Die Unterschiede zwischen den Verwaltungsoptionen werden vor allem durch den unterschiedlichen Platzbedarf bestimmt. Für Endlagerung in Tiefbohrungen ist ein viel größerer Standort notwendig als für geologische Endlagerung und für langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung, weil ein gewisser Abstand zwischen den Bohrlöchern eingehalten werden muss. Für die Status-quo-Option ist nur eine beschränkte Erweiterung am bestehenden Standort notwendig und bleibt die Störung daher beschränkt.

Neben dem Platzbedarf sind auch die Anlagearbeiten selbst bestimmend für die Auswirkungen. Vor allem geologische Endlagerung und in geringerem Ausmaß Endlagerung in Tiefbohrungen implizieren bedeutende Erdbewegungen. Die damit verbundenen LKW-Transporte sorgen für Luftverschmutzung, Lärmbelästigung und Mobilitätsbehinderung für die Anlieger. Für langfristige Lagerung oder dauerhafte Zwischenlagerung und für die Status-quo-Option ist die Erdbewegung weniger umfangreich, aber die Arbeiten sind auf einen viel kürzeren Zeitraum konzentriert, was vorübergehend zu einer höheren Intensität der Transporte führt. Ein hohes Gesundheitsrisiko wäre aber nicht zu erwarten.

### *Der Standort auf lange Sicht*

Ein großer Unterschied zwischen aktiver Verwaltung und passiver Verwaltung ist das Ausmaß, in dem der Standort längerfristig genutzt oder entwickelt werden kann. Bei aktiver Verwaltung bleiben „ewige“ oberirdische Anlagen vorhanden und wird der Standort permanent besetzt. Bei passiver Verwaltung hingegen ist es im Prinzip längerfristig möglich, die oberirdischen Einrichtungen zu entfernen. Dadurch ist eine günstige natürliche oder landschaftliche Entwicklung möglich oder kann der Standort für bestimmte menschliche Aktivitäten genutzt werden.

### *Kosten und Finanzierung*

Alle Verwaltungsoptionen bringen beträchtliche Kosten mit sich. Für geologische Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen ist es möglich, nun die notwendigen Mittel einzurichten. Längerfristig stellen diese Verwaltungsoptionen nämlich geringe oder keine finanziellen Ansprüche. Die Notwendigkeit der regelmäßigen Konditionierung bei dauerhafter Zwischenlagerung macht es in der Praxis unmöglich, einen adäquaten Finanzierungsmechanismus einzurichten. Das bedeutet, dass beträchtliche finanzielle Lasten auf die zukünftigen Generationen abgewälzt werden. Dasselbe gilt für die nicht-definitiven Verwaltungsoptionen: Die Implementierungskosten einer eventuellen Verwaltungsoption mit endgültigem Charakter werden in diesem Fall nämlich weitergegeben.

### *Ethische Aspekte*

Ethische Argumente auf Grundlage international akzeptierter Prinzipien wie Vorsorgeprinzip, nachhaltige Entwicklung, intra- und intergenerationelle Gerechtigkeit führen zu einer Präferenz für die passiven Verwaltungsoptionen. Die Verantwortung wird in diesem Fall innerhalb der heutigen Generation übernommen und es werden keine übertriebenen Lasten auf die zukünftigen Generationen abgewälzt. Die Finanzierung wird von den Verursachern übernommen, insbesondere die Produzenten von Elektrizität aus Kernenergie. Dem steht gegenüber, dass die Flexibilität und damit die Entscheidungsfreiheit für die zukünftigen Generationen bei aktiver Verwaltung größer sind.

### *Sicherheit und Sicherungsmaßnahmen*

Anlagen für langfristige Lagerung oder Endlagerung von radioaktivem Abfall werden nicht als besonders attraktive Ziele für böswillige Handlungen betrachtet. Die unterirdische Lage bei geologischer Endlagerung oder Endlagerung in Tiefbohrungen ist ein zusätzlicher Vorteil.

Dessen ungeachtet müssen am Standort die notwendigen Schutzmaßnahmen getroffen werden.

Kontrollen durch die IAEO und EURATOM im Rahmen von Sicherungsmaßnahmen können für Lager mit klassischen Techniken erfolgen. Für geologische Endlagerung und Endlagerung in Tiefbohrungen sind komplexere Techniken erforderlich. Entwendung von Kernmaterial ist aber durch die unterirdische Lage viel schwieriger.