

# **Endlagerkonzept im Wirtsgestein Ton in Belgien**

**Bericht zum Arbeitspaket 1**

## **Anhang 3**

Anforderungen an aktuelle  
Endlagerkonzepte  
für unterschiedliche  
Wirtsgesteinsformationen

## Endlagerkonzept im Wirtsgestein Ton in Belgien

Bericht zum Arbeitspaket 1

Anhang 3

Anforderungen an aktuelle  
Endlagerkonzepte  
für unterschiedliche  
Wirtsgesteinsformationen

Stephan Uhlmann

August 2017

### **Anmerkung:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende F&E-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) unter dem Kennzeichen 3616E03200 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

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

## **Deskriptoren**

Endlagerkonzept, Belgien, Co-Disposal, Rückholbarkeit, Ton

## **Kurzfassung**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens 3616E03200 „Anforderungen an aktuelle Endlagerkonzepte für unterschiedliche Wirtsgesteinsformationen“ werden internationale Endlagerkonzepte für die Wirtsgesteine Ton/Tonstein, Granit und Salz dargestellt und ausgewertet. Ein Ziel des Vorhabens ist es den internationalen Stand von W&T darzustellen und mögliche Grundanforderungen an Endlagerkonzepte abzuleiten. Hierzu gehören z. B. die Themenfelder Abfallcharakteristik, Einlagerungs- und Rückholtechnik, thermische Auslegung, Behälterkonzept und Co-Disposal. Ferner sollen notwendige Grundlagen für einen Vergleich von Endlager-Standorten aus technisch-wissenschaftlicher Sicht im Rahmen des laufenden Standortauswahlverfahrens unter Berücksichtigung einer möglichen Rückholbarkeit der hoch radioaktiven Abfälle während der Betriebszeit eines Endlagers geschaffen werden.

Der vorliegende Bericht stellt das Endlagerkonzept von Belgien im halbverfestigtem Ton dar. Belgien ist zurzeit noch in einer frühen Phase seines Endlagerprojektes. Es gibt noch keinen Standort, aber einige Standortunabhängige Konzepte und Festlegungen. Geplant ist es die belgischen wärmeentwickelnden und langlebigen radioaktiven Abfälle in einem Endlager jedoch untertägig räumlich getrennt voneinander einzulagern (Co-Disposal). Wärmeentwickelnde Abfälle werden in Form von Brennelementen und verglasten Abfällen in Supercontainern in horizontalen Einlagerungsstrecken eingelagert. Eine Verfüllung der Einlagerungsstrecken soll bisher mit einem Zementversatz erfolgen. Es ist vorgesehen alle Strecken sollen sobald dies praktikabel ist zu verfüllen. Eine Rückholbarkeit ist während der gesamten Betriebsphase geplant. Außerdem soll ein Monitoring stattfinden.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Gesetzliche Anforderungen .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Endlagerkonzept Belgien .....</b>	<b>5</b>
3.1	Endlager-Layout .....	6
3.2	Einlagerungssystem .....	9
3.3	Sicherheitskonzept .....	11
3.3.1	Barrierenkonzept .....	12
3.4	Co-Disposal .....	18
3.5	Rückholbarkeit.....	18
3.6	Monitoring.....	19
<b>4</b>	<b>Anforderungen des belgischen Endlagerkonzeptes .....</b>	<b>21</b>
4.1	Aufstellung von Anforderungen an ein Endlager in Belgien.....	21
4.2	Weitere Anforderungen.....	23
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>25</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>28</b>

# 1 Einleitung

Radioaktive Abfälle werden in Belgien in drei Kategorien eingeteilt. Klasse A Abfälle sind kurzlebige (Halbwertszeit  $\leq 30$  Jahre) radioaktive Abfälle mit einer schwachen und mittleren Aktivität. Langlebige (Halbwertszeit  $> 30$  Jahre) radioaktive Abfälle mit schwacher und mittlerer Aktivität werden Klasse B zugeordnet. Hochradioaktive Abfälle mit kurzen und langen Halbwertszeiten gehören zu Klasse C.

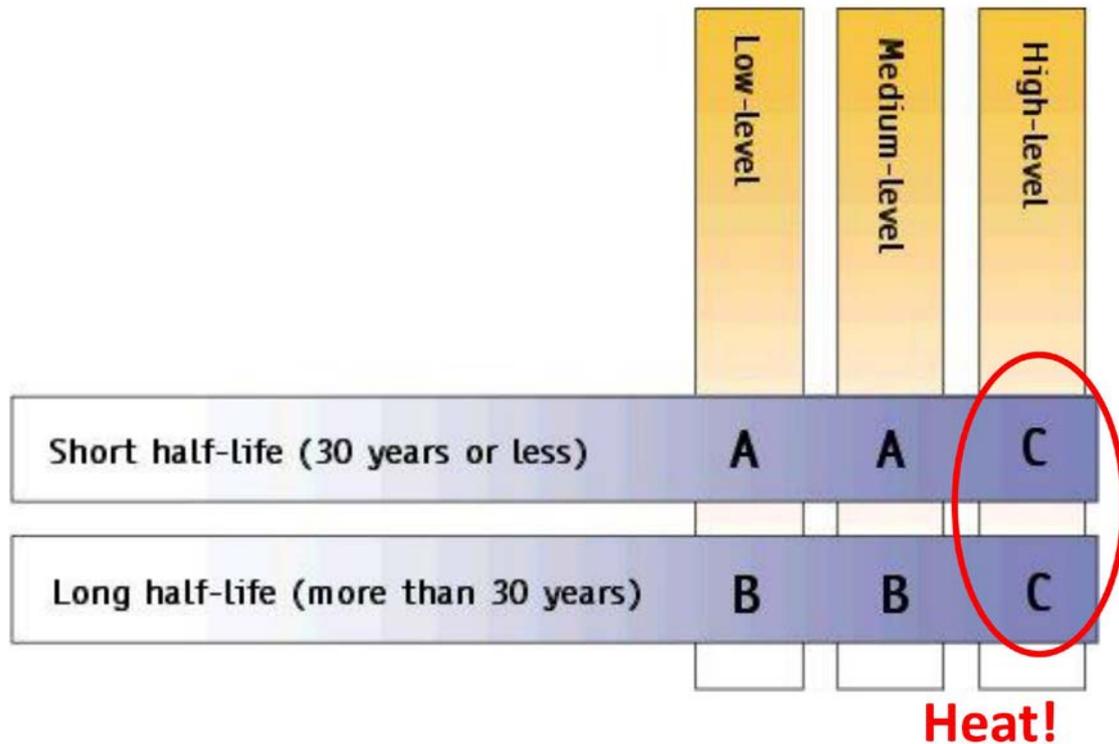


Abb. 1.1 Abfallklassifizierung in Belgien /PIE 06/

Für Klasse A Abfälle gibt es in Belgien das oberflächennahe Endlager Dessel. Für Klasse B und C soll ein geologisches Endlager in Tongestein errichtet werden. Ein genauer Standort dafür steht noch nicht fest. In diesem Bericht erfolgt eine Zusammenfassung des aktuellen Stands des Endlagerkonzept für ein Endlager für Klasse B und C in Belgien.



## 2 Gesetzliche Anforderungen

Der gesetzliche Rahmen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Belgien wird in der generellen Regulierung des Schutzes der Öffentlichkeit, der Arbeiter und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlung /FED 01/ und in den Sicherheitsanforderungen für Nuklearanlagen /FED 11/ festgelegt. Letzteres enthält allgemeine Anforderungen an Nuklearanlagen (Chapter 2) sowie spezifische Anforderungen für Kernreaktoren (Chapter 3) und für Endlager für radioaktive Abfälle (Chapter 4). Bisher gibt es in Chapter 4 nur die Überschrift. D. h. es wurden noch keine spezifischen Anforderungen für Endlager für radioaktive Abfälle formuliert. Demzufolge gelten für Endlager bisher lediglich die allgemeinen grundlegenden Anforderungen (Chapter 2).

Die allgemeinen grundlegenden Anforderungen an Nuklearanlagen betreffen:

- Sicherheitsgrundsätze
- Betriebliche Organisation
- Managementsystem
- Training und Qualifikation des Personals
- Auslegungsgrundlagen
- Einteilung von SSC (structures, systems and components)
- Betriebszustände und –grenzen
- Systemanalyse von Ereignissen und Betrieblicher Erfahrungsrückfluss
- Wartung, Inspektionen und Funktionstests
- Inhalt und Erneuerung des Sicherheitsberichts
- PSA (Periodische Sicherheitsanalyse)
- Änderungen
- Interner Notfallplan
- Schutz vor internen Bränden

In der Regulierung des Schutzes der Öffentlichkeit, der Arbeiter und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlung /FED 01/ wird zwischen Kontrollbereich (control-

led area) und Überwachungsbereich (supervised area) unterschieden. Unter Kontrollbereich fallen alle Bereiche in denen Individuen eine jährliche Dosis von 1,8 mSv und mehr erhalten können. Überwachungsbereiche sind da einzurichten, wo die Dosis für Individuen die Dosisbegrenzungen für die Bevölkerung (1 mSv pro Jahr) überschritten werden /FED 01/.

### 3 Endlagerkonzept Belgien

Laut dem Joint Convention Bericht /FED 14/ sind die Planungen für ein Endlager für langlebige und hochradioaktive Abfälle noch in einer frühen Phase der methodischen Forschung und Entwicklung. Das Ziel dieser Forschung und Entwicklung ist die Untersuchung der technischen und finanziellen Machbarkeit eines sicheren tiefengeologischen Endlagers in Belgien ohne Vorfestlegung auf einen Standort. Eine Standortsuche wird ein Bestandteil der folgenden Phase sein.

Die ONDRAF/NIRAS ist die belgische nationale Behörde für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente und hat folgende strategische Festlegungen für die Endlagerung der Klasse B und C Abfälle (langlebige und wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle) getroffen /DEP 17/:

- Das Endlager soll auf Belgischem Boden errichtet werden.
- Die Endlagerung soll in einem halb-verfestigtem Ton („poorly indurated clays“) („Boom Clay or Ypresian Clay“) stattfinden. Es sind verschiedene Tiefen (200 m, 400 m und 600 m) für die Einlagerung angedacht.
- Die Abfalltypen werden in Gruppen eingeteilt und in unterschiedlichen Teilen des Endlagers eingelagert.
- Es wird eine dauerhafte Abschirmung der Radioaktiven Abfälle von der Umwelt sowie die Minimierung der untertägigen Betriebsabläufe angestrebt.
- Alle untertägigen Strecken sollen so früh wie praktikabel möglich geschlossen (verfüllt und abgedichtet) werden.
- Sicherstellung von Umkehrbarkeit während der Betriebsphase (reversibility)
- Treffen von Vorkehrungen für eine Rückholbarkeit während der Betriebsphase (retrievability)
- Berücksichtigung von Wissenstransfer an folgende Generationen
- Kontrollierbarkeit des Endlagers (Monitoring)

Das Konzept sieht laut /HAV 14/ weiterhin vor, dass die Strecken des Endlagers mit Beton Keilblöcken (Tübbings, Stärke: 300 mm /ZIE 08/) ausgebaut werden. Die Betriebszeit wird auf rund 100 Jahre geschätzt /DEP 16/.

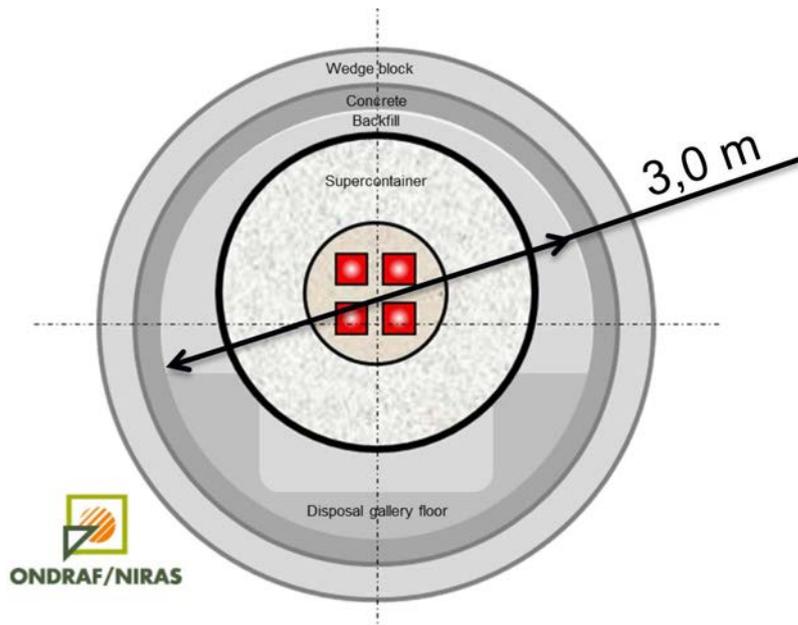
Für Klasse-C-Abfälle wurden bisher vier Einlagerungskonzepte betrachtet. horizontale Streckenlagerung in Supercontainern oder in Bentonit-Hülsen (Sleeve Design) und horizontale/senkrechte Bohrlochlagerung. Favorisiert wird derzeit die horizontale Streckenlagerung in Supercontainern /ZIE 08/.

Das endzulagernde Abfallvolumen liegt bei 11.100 m<sup>3</sup> (10.430 m<sup>3</sup>) für die Klasse-B-Abfälle sowie bei 600 m<sup>3</sup> (4.500 m<sup>3</sup>) für Klasse-C-Abfälle. Die Werte in Klammern sind für den Fall, dass es keine weitere Wiederaufbereitung der abgebrannten BE gibt. Damit ergibt sich eine Fläche für das Endlager von 1,8 km<sup>2</sup> mit vollständiger Wiederaufbereitung und 3,1 km<sup>2</sup> wenn keine weitere Wiederaufbereitung stattfindet /PIR 13/.

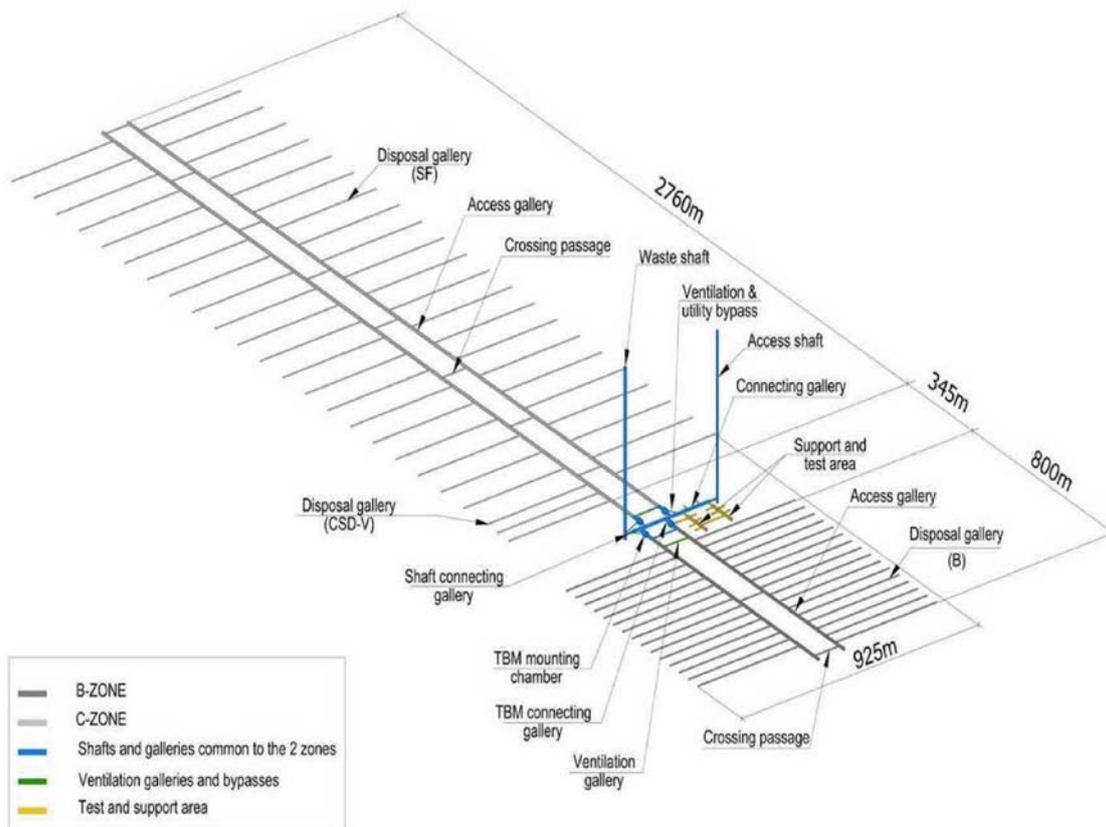
### **3.1 Endlager-Layout**

Um vorläufige Sicherheitsanalysen durchführen zu können wurde ein Referenz-Layout (siehe Abb. 3.2 und Abb. 3.4) aus verschiedenen Vorschlägen ausgewählt. Bei der Auswahl wurden die betriebliche Sicherheit sowie die Grubenstabilität berücksichtigt. Laut Konzept besitzt das Endlager zwei Schächte im Zentrum des Layouts. Ein Transportschacht mit einem Durchmesser von 6 m und einem Abfallschacht mit einem Durchmesser von 8 m. Das Layout soll aus Grubenstabilitätsgründen lediglich T-Kreuzungen und keine X-Kreuzungen aufweisen. Vor den Schächten ist in beiden Bereichen jeweils eine 60 m lange Abdichtungszone geplant /DEP 17/.

In der Klasse-C-Abfall-Zone besitzt die Hauptbetriebsstrecke einem Durchmesser von 7,5 m und wird in U-Form angelegt. Ausgehend von dieser Hauptbetriebsstrecke gehen die 400 m langen Einlagerungsstrecken mit einem Durchmesser von 3 m ab. Von den 400 m Einlagerungsstrecke sind 25 m für den Verschluss eingeplant. Außerdem soll die U-förmige Hauptbetriebsstrecke alle 360 m Querverbindungen mit einem Durchmesser von 3,5 m besitzen. Der Abstand der beiden Hauptbetriebsstrecken und damit die Länge der Querverbindungen betragen 100 m. Die Abstände der Einlagerungsstollen betragen für abgebrannte Brennelemente 120 m und für verglaste Klasse-C-Abfälle 60 m. Weiterhin werden die Abstände zwischen den Abfallbehältern für Klasse-C-Abfälle mit 10 cm angesetzt. Dies bedarf jedoch noch einer Bewertung. Es ergeben sich 46 notwendige Einlagerungsstrecken mit einer nutzbaren Gesamtlänge von ca. 18,4 km für die Klasse-C-Abfälle /DEP 17/.

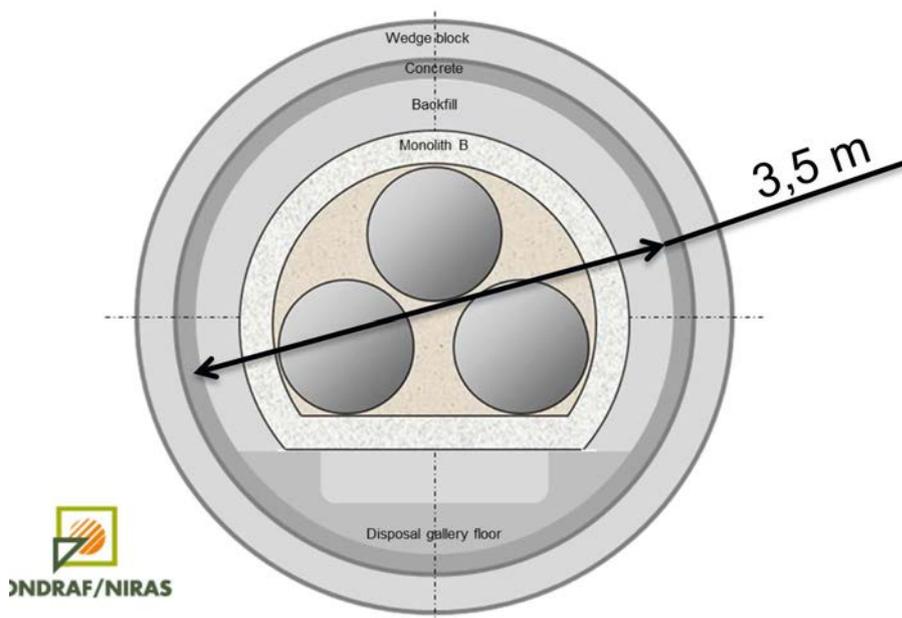


**Abb. 3.1** Querschnitt einer Einlagerungsstrecke für Klasse-C-Abfälle /DEP 17/



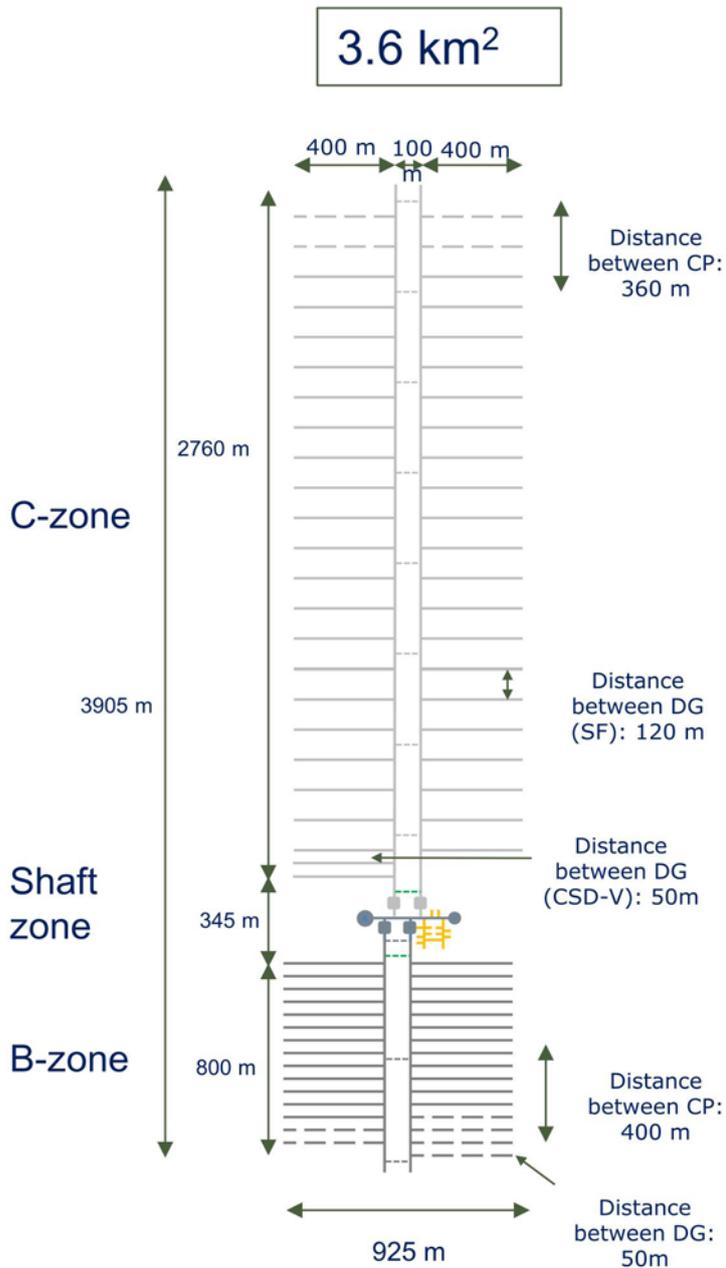
**Abb. 3.2** Das Layout für ein Endlager in Belgien /DEP 17/

In der Klasse-B-Abfall-Zone besitzt die Hauptbetriebsstrecke einem Durchmesser von 7 m und wird ebenfalls in U-Form angelegt. Ausgehend von dieser Hauptbetriebsstrecke gehen die 400 m langen Einlagerungsstrecken mit einem Durchmesser von 3,5 m ab. Von den 400 m Einlagerungsstrecke sind 25 m für den Verschluss eingeplant. Außerdem soll die U-förmige Hauptbetriebsstrecke alle 400 m Querverbindungen mit einem Durchmesser von 3,5 m besitzen. Die Abstände der Einlagerungsstollen betragen für Klasse-B-Abfälle 50 m. Es ergeben sich 30 notwendige Einlagerungsstrecken mit einer nutzbaren Gesamtlänge von ca. 12 km für die Klasse-B-Abfälle /DEP 17/.



**Abb. 3.3** Querschnitt einer Einlagerungsstrecke für Klasse-B-Abfälle /DEP 17/

Die gesamten Ausmaße des Endlagers belaufen sich auf eine Länge von 3905 m und eine Breite von 925 m. Damit ergibt sich ein Flächenbedarf von 3,6 km<sup>2</sup> /DEP 17/.

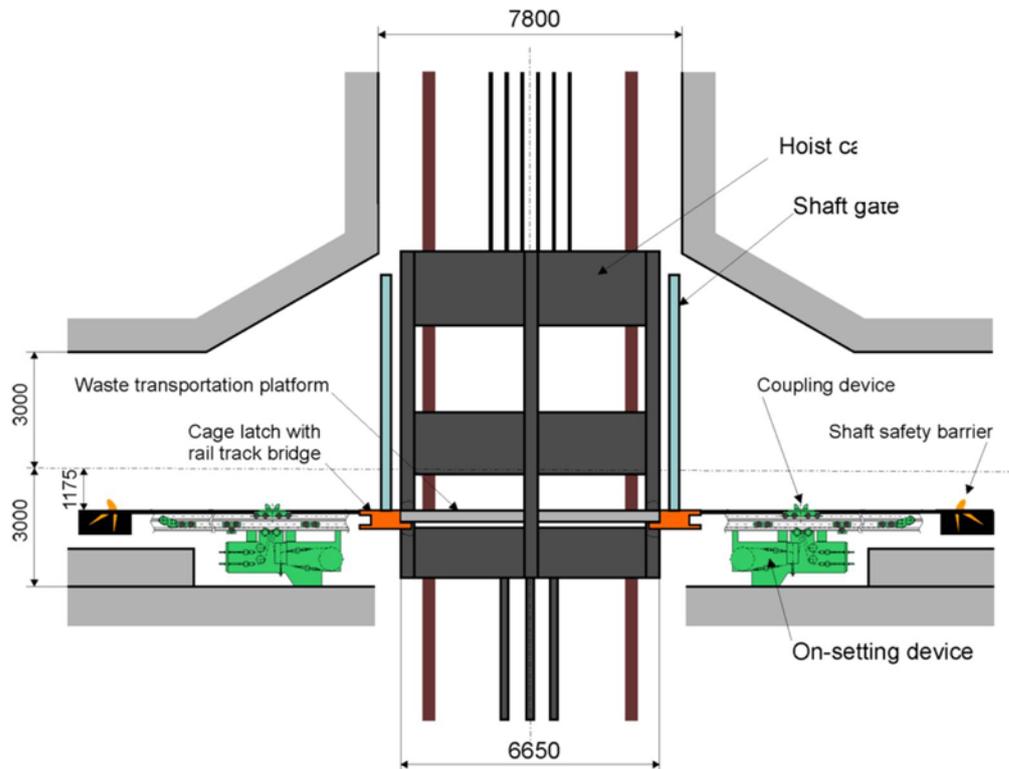


**Abb. 3.4** Das Layout für ein Endlager in Belgien /DEP 17/

### 3.2 Einlagerungssystem

Das vorläufige Konzept zum Einlagerungssystem besteht aus einem Schienensystem in den übertägigen Bereich, einer Schachtförderanlage für den Transport nach unter Tage und einem Hybridtransportsystem unter Tage. Die Abfallgebände werden über Tage auf schienengebundenen Transportwagen befördert. Dieser Transportwagen kann mitsamt dem Abfallgebände in den Förderkorb der Schachtförderanlage gescho-

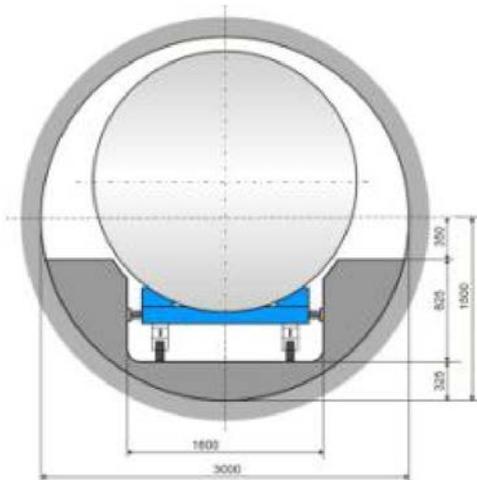
ben werden. Gleichmaßen wird der Transportwagen am Füllort vom Förderkorb abgezogen. Für den Aufschiebe-Vorgang über Tage und den Abschiebe-Vorgang unter Tage sind entsprechende Einrichtungen vorgesehen (siehe Abb. 3.5) /HAV 14/.



**Abb. 3.5** Geplanter Füllort der Einlagerungssohle mit Förderkorb und Auf- bzw. Abschiebeeinrichtungen /HAV 14/

Die Schachtförderanlage besitzt eine Nutzlast von ca. 70 t /PIR 13/. Unter Tage soll ein rad- und schienengestütztes Hybridtransportsystem zum Einsatz kommen. Auf den Transportstrecken fährt der Transportwagen auf Schienen. Dabei wird er von einer Batteriegetriebenen E-Lok gezogen. Vor der Einlagerungsstrecke wird der Transportwagen auf eine Drehplatte gezogen und anschließend von der E-Lok abgekoppelt. Nach einer 90°-Drehung wird der Transportwagen von einer zweiten E-Lok, die in einer gegenüber der Einlagerungsstrecke liegenden Kammer steht in die Einlagerungsstrecke geschoben. Die Einlagerungsstrecken sind mit einem Betonboden ausgestattet. Dieser hat eine tieferliegende Fahrspur, in der der Transportwagen fährt. Ist der Transportwagen mit dem Abfallgebilde am finalen Einlagerungsort angekommen, wird der Transportwagen so abgesenkt, dass das Abfallgebilde auf den, im Gegensatz zur Fahrspur erhöhten, Seitenbereichen des Bodens aufliegt (siehe dazu Abb. 3.6). Der Transportwagen, kann so wieder herausgezogen und wiederverwendet werden /HAV 14/.

Nach dem bisherigen belgischen Konzept ist der Verbleib von Stahlkomponenten im Endlager zu minimieren. Demzufolge werden die Abfallgebinde nicht auf Schienen, sondern auf den Rädern des Transportwagens in die Einlagerungskammer geschoben /HAV 14/.



**Abb. 3.6** Querschnitt eines Einlagerungstunnels /HAV 14/

### 3.3 Sicherheitskonzept

Das grundsätzliche Sicherheitskonzept in Belgien stützt sich auf folgende drei Sicherheitsfunktionen, welche von künstlichen und natürlichen Barrieren (siehe 3.3) erfüllt werden /PIE 06/:

- Isolation von Radionukliden von der Biosphäre,
- Einschluss von Radionukliden im Endlagergebäude sowie
- Begrenzung und Verzögerung der Ausbreitung von Radionukliden.

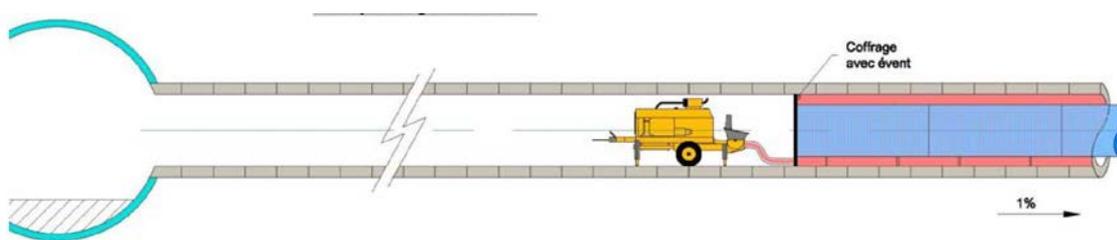
Neben den Barrieren umfasst das Sicherheitskonzept außerdem dafür zu sorgen, dass das Wissen über das Endlager an die nächsten Generationen weitergegeben wird. Ebenso soll ein Monitoring des Endlagers die Kontrolle jenes ermöglichen /DEP 16/.

### 3.3.1 Barrierenkonzept

Die Barrieren gehören zum Sicherheitskonzept und bestehen aus folgenden natürlichen und künstlichen Barrieren, die die grundsätzlichen Sicherheitsfunktionen (siehe 3.3) erfüllen sollen /SCK 06/:

- die Abfallform
  - die Umverpackung
  - die Betonpufferzone
  - der Envelope
- } Supercontainer
- Das Versatzmaterial auf Ton-Basis
  - die Tonformation

Alle Einlagerungsstrecken sollen zeitnah mit einem Versatzmaterial verfüllt werden /DEP 16/. Im SAFIR-Konzept wird ein Versatzmaterial auf Ton-Basis (60% FoCa-Ton, 35% Sand und 5% Graphit) /ZIE 08/ in Form von vorgefertigten Elementen angegeben. Das aktuelle Verfüll- und Verschlusskonzept sieht ein fließfähiges Zementmaterial zum Verfüllen der Einlagerungsstrecken vor /ZIE 08/. Die Verfüllung der Einlagerungsstrecken soll alle 30 m abschnittsweise erfolgen (siehe Abb. 3.7) /PIR 13/.



**Abb. 3.7** Konzept zur abschnittweisen Verfüllung /ZIE 08/

In /DEP 16/ wird angegeben, dass alle weiteren Strecken und untertägigen Teile des Endlagers ebenfalls sobald dies praktikabel ist verfüllt und abgedichtet werden sollen. Die Verbindungsstrecken werden nach /ZIE 08/ mit einem Sand-Ton-Gemisch verfüllt. Außerdem sind zwei hintereinander angeordnete, wasserdichte Verschlussbauwerke vorgesehen.

Für das Versatzmaterial in den Einlagerungsstrecken und für die Pufferzone im Supercontainer wird jeweils eine maximal zulässige Temperatur von 100 °C angegeben /ZIE 08/.

Die Einlagerungsstrecken für die ILW-Abfallgebinde und für den HAW mit geringer Wärmeentwicklung sowie die restlichen Strecken und Schächte sollen mit Beton oder ähnlichem Material bzw. einem Gemisch aus FoCa-Ton verfüllt werden /ZIE 08/.

Der Versatz soll folgende Aufgaben erfüllen /PIR 13/:

- für mechanische Stabilität sorgen
- Verhinderung der Bildung von advektiven Transportstrecken im Nahfeld
- Reduzierung von Porenräumen, in denen sich auf lange Sicht Wasser sowie Spaltmaterial ansammeln können und zu einem kritischen Ereignis führen könnten

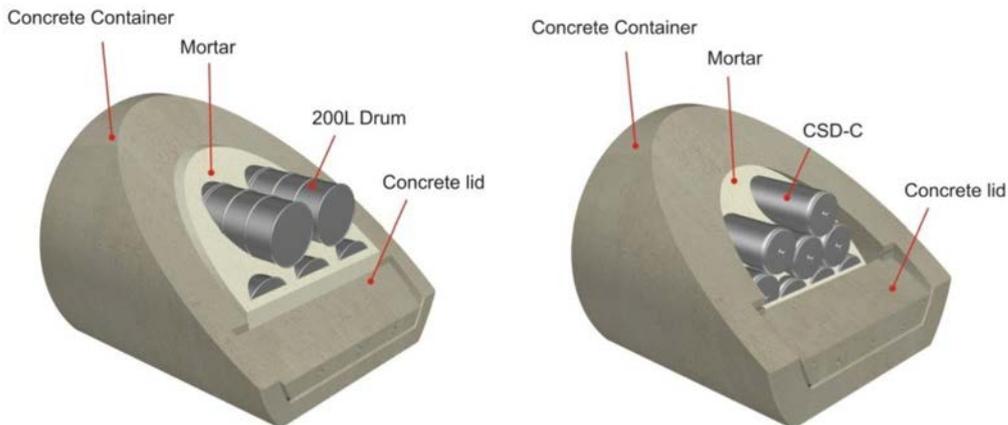
An den Schachtverschluss werden nach /ZIE 08/ folgende Anforderungen gestellt:

- Die Permeabilität sollte der der Wirtsfornation entsprechen. Etwas höhere Werte können zulässig sein, wenn die Sicherheitsanalysen zeigen, dass auch unter diesen Bedingungen die Dosis-Kriterien bzw. Risikokriterien eingehalten werden.
- Der Verschluss der Auflockerungszone um den Schacht ist eine wesentliche Aufgabe des Schachtverschlusses.
- Der Verschluss des Schachtes soll den maximal zu erwartenden Gas- und Wasserdrücken in der Endlagertiefe widerstehen.
- Der Schachtverschluss muss den durch die Konvergenz der Wirtsfornation hervorgerufenen Spannungen widerstehen können.
- Die minimale Standzeit des Verschlusses soll zwischen einigen Tausend Jahren bis zu 100.000 Jahren liegen.

### **3.3.1.1 Behälterkonzept**

Je nach Abfalltyp gibt es verschiedene Abfallbehälter. Für langlebige mittelradioaktive Abfälle (Klasse B) und für die kompaktierte Abfälle (CSD-C) ist vorgesehen die Abfälle in einem Monolith einzulagern. D. h. der Abfall wird in 200 I-Fässern (Klasse B Abfälle) bzw. in Kanistern (CSD-C Abfall) in einen Beton-Container positioniert. Der Zwischen-

raum im Betonbehälter soll mit Mörtel aufgefüllt werden /HAV 14/. Der Monolith besteht auf Portland Zement und hat eine maximale Länge von 2,9 m sowie einen Durchmesser von 2,9 m /VEH 16/. Siehe Dazu auch Abb. 3.8.



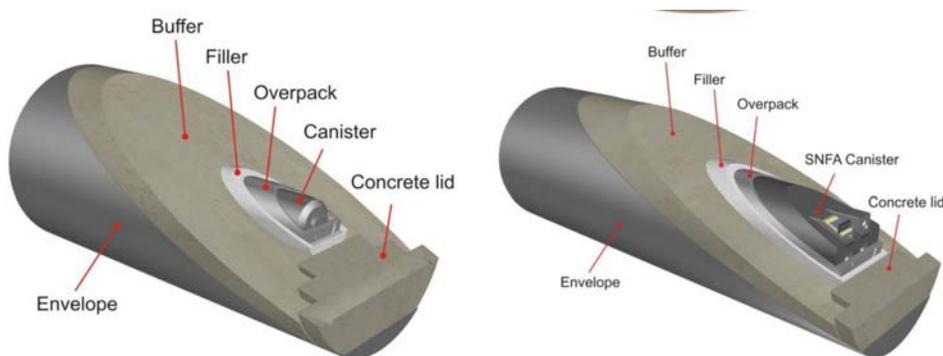
**Abb. 3.8** Container-Konzept für langlebige, mittelradioaktive Abfälle (Klasse B) in Belgien /VEH 16/

Für die wärmeentwickelnden, radioaktiven Abfälle soll ein sogenannter „Supercontainer“ zum Einsatz kommen. Dieser ist für eine Wärmeentwicklung durch den enthaltenen Abfall von ca. 250 W/m ausgelegt /BRE 07/. Der Supercontainer hat eine Länge von bis zu 6,25 m und einen Durchmesser von 2,15 m und besitzt eine Nutzlast von bis zu 70 t /HAV 14/, /PIR 13/. Je nach Inventar des Supercontainers variieren auch seine Außen- und Innenmaße. Es können entweder zwei HAW-Kokillen, vier DWR-Brennelemente oder ein MOX-Brennelement in einen Supercontainer verpackt werden (siehe Abb. 3.9) /ZIE 08/. Das jeweilige Inventar ist umgeben von einer Umverpackung (Overpack) aus 30 mm dickem unlegiertem Stahl. Die Umverpackung wird verschweißt und anschließend in den Supercontainer verpackt. Der Spalraum wird mit einem Füllmaterial vergossen. Der Supercontainer besteht aus einer Betonschicht vom Typ CEN-I nach EN-197 /DIN 14/ im Inneren, die als Pufferzone dienen soll. Die Pufferzone wird von einer als Envelope bezeichneten Umverpackung aus 6 mm Edelstahl umschlossen /HAV 14/, /SCK 06/. Der Envelope wird ebenfalls verschweißt. Siehe dazu auch Abb. 3.10.

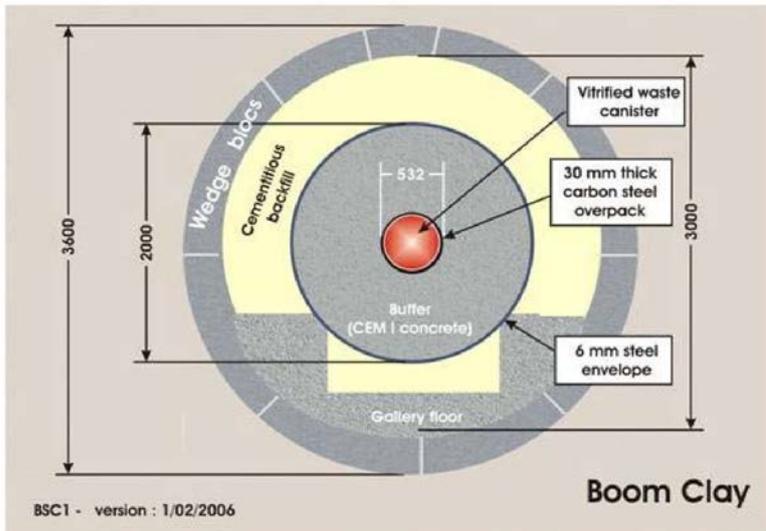
Abfallart	Beladung	Behälterabmessungen		Standzeit	Zwischenlagerzeit	Wärmeleistung
WA-Abfälle	2 HAW-Kokillen	Außendurchmesser: Länge: Wandstärke: Gesamtmasse: Gesamtvolumen:	1.900 mm 4.200 mm 700 mm 30 Mg 12 m <sup>3</sup>	500 a	60 a bis 70 a	keine Angabe
BE	4 DWR-BE (Uran)	Außendurchmesser: Länge (max.): Wandstärke: Gesamtmasse (max.): Gesamtvolumen:	2.100 mm 6.200 mm 600 mm 60 Mg 21,5 m <sup>3</sup>	2000 a	60 a bis 70 a	keine Angabe
BE	1 DWR-BE (MOX)	Außendurchmesser: Länge: Wandstärke: Gesamtmasse: Gesamtvolumen:	1.600 mm 6.100 mm 600 mm 31 Mg 12,3 m <sup>3</sup>			

**Abb. 3.9** Angaben zu den verschiedenen Supercontainertypen /ZIE 08/

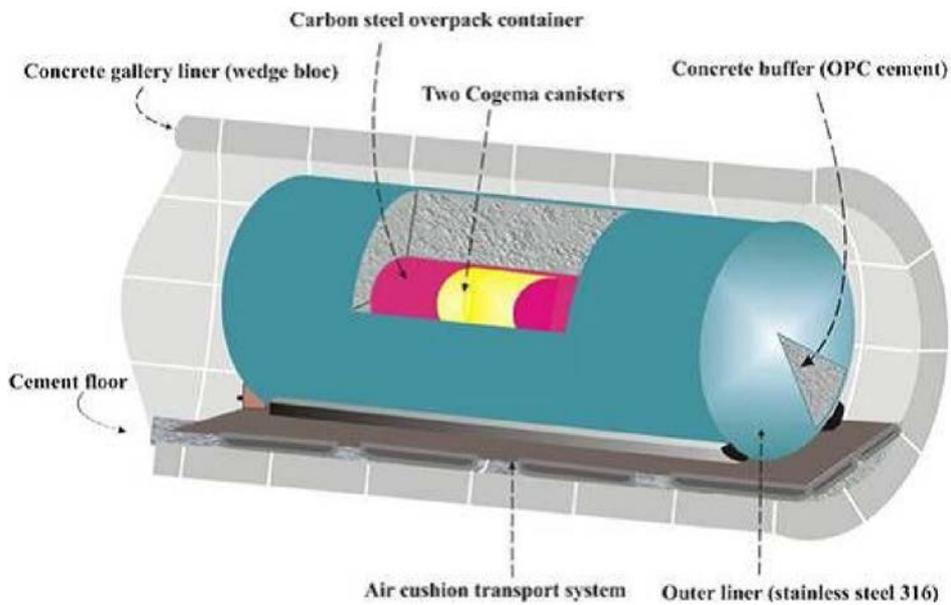
In den Abb. 3.11 bis Abb. 3.12 werden die Supercontainer mit HAW-Kokillen gezeigt. Abb. 3.13 und Abb. 3.14 zeigen den Supercontainer mit Brennelementen (BE). Beide Supercontainerbeladungen sind in Abb. 3.10 abgebildet.



**Abb. 3.10** Supercontainer-Konzept für wärmeentwickelnde, radioaktive Abfälle (Klasse C) in Belgien /VEH 16/



**Abb. 3.11** Querschnitt der HAW-Einlagerung im Supercontainer /ZIE 08/



**Abb. 3.12** Streckenlagerung Supercontainer HAW-Kokillen /ZIE 08/

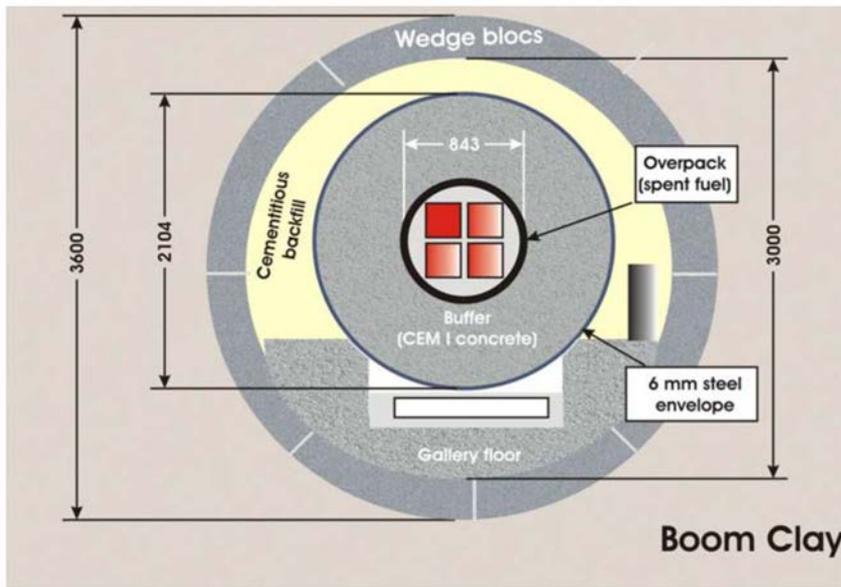


Abb. 3.13 Querschnitt von BE-Einlagerung im Supercontainer /ZIE 08/

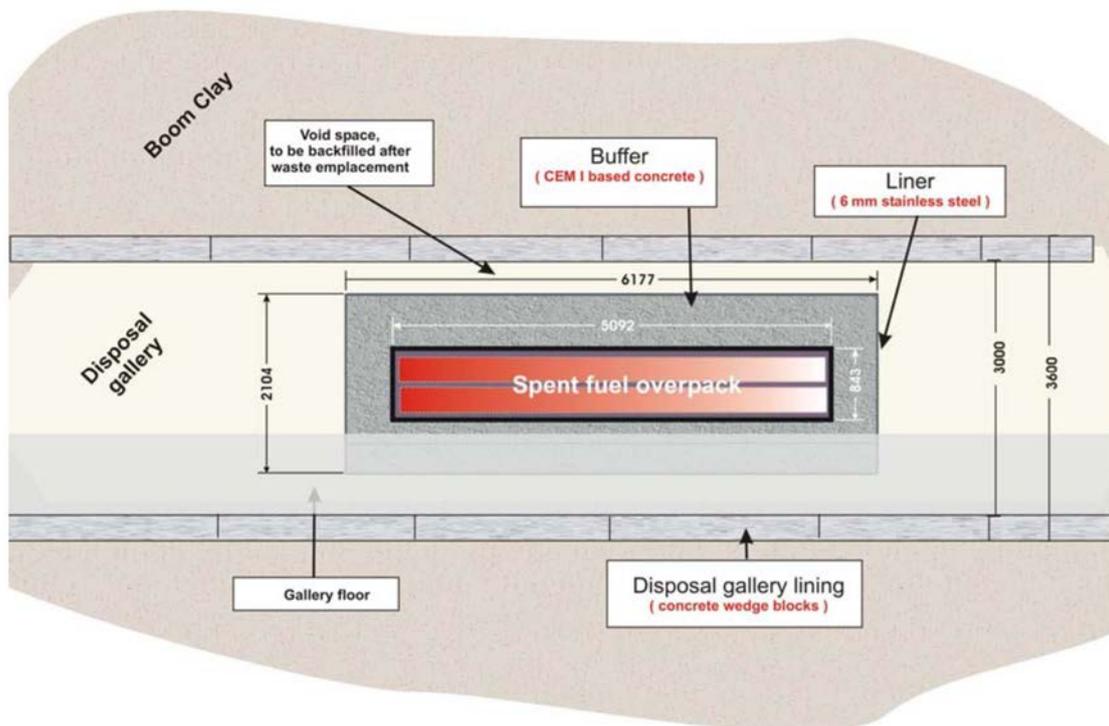


Abb. 3.14 Längsschnitt der BE-Einlagerung im Supercontainer /ZIE 08/

Behälteranforderungen /ZIE 08/, /PIR 13/:

- Die Wärmeleistung der Abfälle muss so gering sein, dass die Pufferzone im Supercontainer und das Versatzmaterial der Einlagerungsstrecken eine Temperatur von 100 °C nicht übersteigt.
- Abschirmung der ionisierenden Strahlung (25 µSV/h in 1 m Abstand)
- Ausreichende mechanische Stabilität (für Handhabung, versehentlichem Herabfall, Rückholung, ...)
- Rückhaltung der Radionuklide mindestens für die Zeit der thermischen Phase. Die Korrosion der Umverpackung darf nicht punktuell auftreten. Nur über lange Zeiträume ist eine Abnahme der Wandstärke durch gleichmäßige Korrosion zulässig.

### **3.4 Co-Disposal**

Die Abfallklasse B und C sollen in separaten Bereichen in einem Endlager eingelagert werden /DEP 16/.

### **3.5 Rückholbarkeit**

Umkehrbarkeit (des Einlagerungsprozesses) und Rückholbarkeit wird für ein tiefengeologisches Endlager in Belgien gesetzlich /FED 14/ gefordert aber nicht genauer definiert. Es sind Vorkehrungen für eine geplante Rückholung in der Betriebszeit (ca. 100 Jahre) zu bedenken /DEP 16/.

Alle in den bisherigen Planungen betrachteten Betriebsabläufe des Endlagers müssen Reversibel sein. Das betrifft beispielsweise Transportprozesse unter Tage, im Schacht und über Tage sowie alle dazugehörigen Umladevorgänge der Endlagerbehälter /PIR 13/. Die Maßnahmen zur Ermöglichung bzw. Erleichterung der Rückholbarkeit, darf die betriebliche und die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen /ZIE 08/.

Laut /NEA 04/ ist die Rückholbarkeit für den Zeitraum vorgesehen bis die Hauptstrecken des Endlagers verfüllt werden.

### **3.6 Monitoring**

Monitoring soll durchgeführt werden /DEP 16/. Genauere Informationen bezüglich der Umsetzung des Monitorings gibt es bisher noch nicht.



## **4 Anforderungen des belgischen Endlagerkonzeptes**

In diesem Kapitel werden die Grundanforderungen genannt, die an Endlager- und Behälterkonzepte zu stellen sind. Dabei ist zunächst zwischen den grundsätzlichen für Nuklearanlagen /FED 11/, die in Belgien verbindlich für alle Nuklearanlagen sind und weiteren Anforderungen, die spezifisch für Endlager bzw. Endlagerkonzepte sind, zu unterscheiden.

Die Sicherheitsanforderungen /FED 11/ wurden bereits in Kapitel 2. erwähnt. Darüber hinaus werden in Kapitel 4.2 spezifisch für das Wirtsgestein Ton und das Endlagerkonzept weitere Anforderungen gegeben. Kapitel 4.1 beschreibt die Aufstellung von Anforderungen in Belgien.

### **4.1 Aufstellung von Anforderungen an ein Endlager in Belgien**

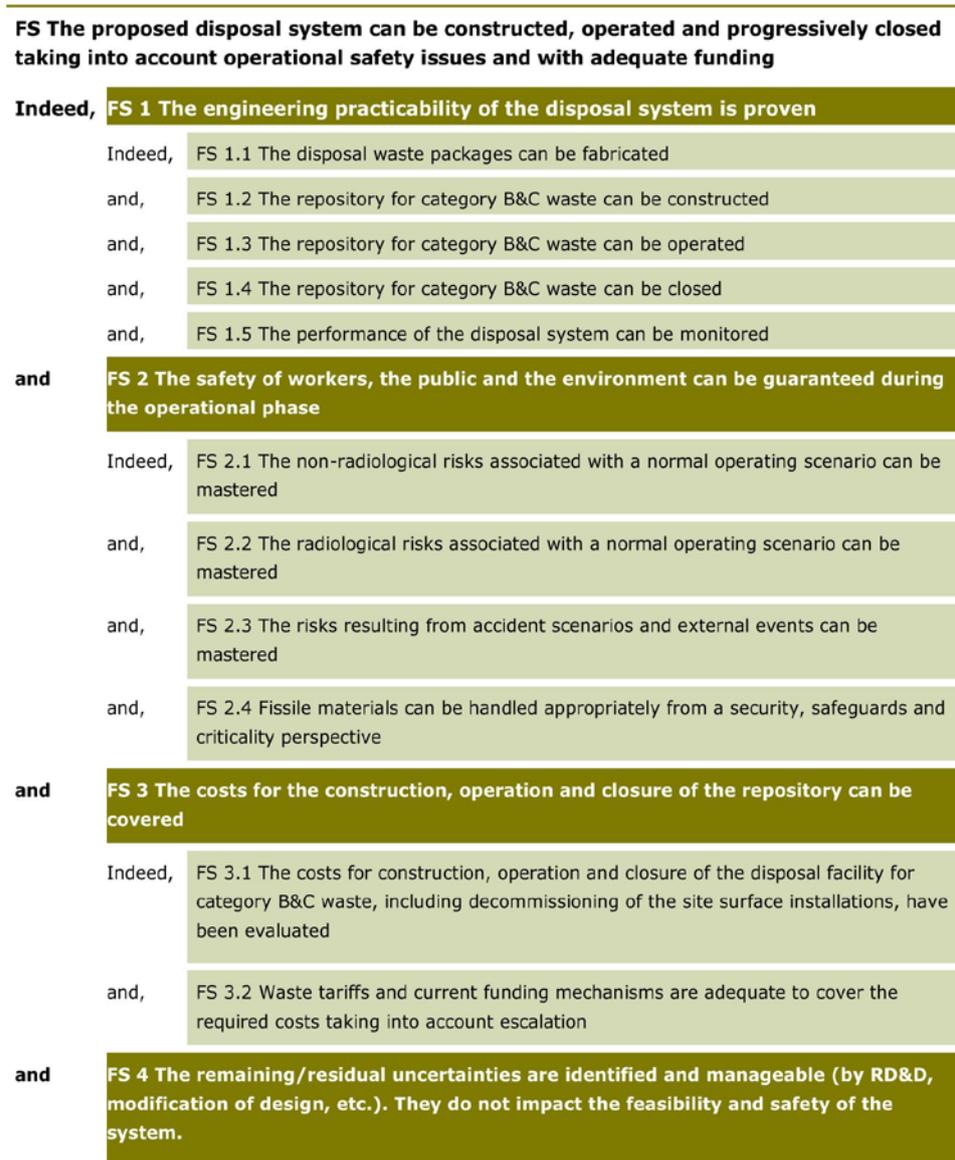
Im Rahmen von Sicherheits- und Machbarkeitsstudien werden verschiedene Anforderungen in Form von Forderungen hierarchisch in Sicherheits- und Machbarkeitsaussagenbäumen angeordnet. Diese Herleitung von Anforderungen folgt einem Top-Down Prinzip. Die grundlegenden Anforderungen des Belgischen Konzeptes an ein Endlager sind die Errichtbarkeit, die Betriebbarkeit und die schrittweise Verschleißbarkeit des Endlagers. Diese Grundanforderungen beziehen sich dabei immer auf die Langzeitsicherheit und die Betriebliche Sicherheit /PIR 13/.

Gestützt werden diese Grundanforderungen von drei spezifischeren Machbarkeitsaussagen (Feasibility Statements) der ersten Ebene /PIR 13/:

- Ingenieurtechnische Realisierbarkeit des Endlagerdesigns
- Betriebliche Sicherheit – Sicherheit der Arbeiter, der Öffentlichkeit sowie der Umwelt während der Betriebsphase
- Geld zur Begleichung der Kosten der Endlagerung ist verfügbar

Die Machbarkeitsaussagen der Tieferen Ebene beziehen sich auf verschiedene Komponenten des Endlagersystems und werden von den Machbarkeitsaussagen der ersten Ebene abgeleitet. Siehe dazu auch Abb. 4.1

Die Bestätigung der Aussagen wird nach Bottom-Up Ansatz durchgeführt. Dazu wird in den untersten Ebenen mit der Überprüfung der Aussagen begonnen. So wird Aussage für Aussage in den einzelnen Ebenen überprüft. Damit können Ungewissheiten identifiziert und damit nötige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erkannt werden.



**Abb. 4.1** Hierarchische Ableitung von Anforderungen an ein Endlager in Belgien /PIR 13/

## **4.2 Weitere Anforderungen**

In den Kapiteln zuvor wurden bereits diverse Anforderungen an Endlager in Belgien genannt. In diesem Kapitel sollen zusätzliche Hinweise auf mögliche weitere zu berücksichtigende Anforderungen erwähnt werden.

Ein Bergwerk in halb-verfestigtem Ton bedingt hinsichtlich der bau- und geotechnischen Stabilität einen Ausbau der Strecken. Im Gegensatz zu anderen Wirtsgesteinen ist der Aufwand für den Ausbau in halb-verfestigtem Ton höher. Nach dem Belgischen Konzept erfolgt der Ausbau mit 300 mm starken Beton-Keilblöcken.

Bei Endlagern für wärmeentwickelnde Abfälle in Tonformationen ist der Wärmeeintrag ins Wirtsgestein zu limitieren. International werden Maximaltemperaturen von ca. 100 °C in Tonformationen verwendet. Im belgischen Konzept gelten ebenfalls maximal 100 °C für die Pufferzone im Supercontainer und für das Versatzmaterial der Einlagerungstrecken.

Durch das geplante Co-Disposal im belgischen Endlagerkonzept ergeben sich weitere Anforderungen. Bei dem Einsatz von Co-Disposal muss grundsätzlich die gegenseitige Beeinflussung beider Abfallarten (Abfallklasse B und C) ausgeschlossen werden können. Insbesondere ein thermischer Einfluss der Klasse-C-Abfälle auf die Klasse-B-Abfälle kann zu Problemen, wie erhöhte Gasbildung, führen.

Die Bewetterung in einem Endlagerbergwerk ist so auszulegen, dass die Bedingungen des Wirtsgesteins nicht negativ verändert werden. Insbesondere ist dabei auf den Feuchtigkeitseintrag in das Wirtsgestein bzw. auf eine Trocknung des Wirtsgesteins unter Tage zu achten. Beides kann zu Veränderungen der Eigenschaften des Wirtsgesteins führen.

### **Rückholung**

Für das belgische Endlager ist nachzuweisen, dass die Rückholbarkeit der Abfälle die Sicherheit in der Betriebs- und Nachbetriebsphase nicht beeinträchtigt. D. h. das Sicherheitsniveau des Endlagers darf durch die zusätzlich für die Rückholung getroffenen Maßnahmen und Auslegungen nicht absinken.

Da unter anderem die Einlagerungskammern nach letztem Stand mit einem fließfähigen Zementmaterial verfüllt werden sollen, kann der Aufwand für die Rückholung erhöht gegenüber anderen Versatzmaterialien sein. Die Zugänglichkeit, welches eine Grundanforderung an die Rückholbarkeit darstellt, würde damit erschwert.

Da die Betriebszeit mit 100 Jahren angesetzt wird und eine Rückholung während der Betriebszeit gefordert wird, müssen alle nicht austauschbaren Komponenten für diesen Zeitraum ausgelegt sein. Dies betrifft insbesondere die Abfallbehälter, die für die gesamte Betriebszeit des Endlagers handhabbar sein müssen. Dazu dienen die Anforderungen an die Behälter aus Kapitel 3.3.1.1, die demzufolge für die gesamte Betriebszeit dienen.

Zur Handhabbarkeit der Abfallgebinde sind ebenfalls Maschinen vorzuhalten, mit denen die Rückholung von Abfallgebinden durchgeführt werden kann. In Belgien ist geplant, die gleichen Maschinen wie für die Einlagerung auch für die Rückholung zu verwenden. Dabei sollte gezeigt werden, ob die Anschlagpunkte am Abfallgebinde auch nach 100 Jahren und nach dem Entfernen des Versatzes wieder genutzt werden können.

Weiterhin sind bei der Rückholung gleichermaßen wie auch bei der Einlagerung die maximalen Temperaturen aus dem Bergrecht einzuhalten. Je nach Einlagerungsfortschritt kann eine Kühlung der Strecken notwendig sein, bevor Arbeiter die Rückholung in den Strecken ausführen dürfen.

## Literaturverzeichnis

- /BMU 10/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. 22 S.: Bonn, 30. September 2010.
- /BRE 07/ Brennecke, P., Rothfuchs, T. (Hrsg.): Proceedings. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Radioactive Waste Disposal in Geological Formations, Braunschweig, November 6-9, 2007, GRS-S-49, ISBN 978-3-939355-19-9, 2007.
- /DEP 16/ Depaus, C., Wacquir, W., Raymaekers, D.: Evolution of the lay-out of the Belgian geological repository to improve the operational safety, Joint NEA / IAEA Workshop Operational Safety of Geological Repositories Session 5.1.d. Präsentation, Organization for Economic Co-operation and Development - Nuclear Energy Agency (OECD-NEA), International Atomic Energy Agency (IAEA): Paris, 1. Juli 2016.
- /DEP 17/ Depaus, C.: Evolution of the lay-out of the Belgian geological disposal facility to improve the operational safety, GEOSAF III. Präsentation, Belgian agency for radioactive waste and enriched fissile materials (ONDRAF/NIRAS), International Atomic Energy Agency (IAEA): Wien, 26. Mai 2017.
- /DIN 14/ Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; Deutsche Fassung prEN 197-1:2014. DIN EN 197-1:2014-07, 42 S., 2014.
- /FED 01/ General Regulation for the protection of the public, workers and the environment against the hazards of ionizing radiation, as amended, zuletzt geändert 20. Juli 2001.
- /FED 11/ Safety requirements for nuclear installations (SRNI), zuletzt geändert 30. November 2011.

- /FED 14/ Federal Agency for Nuclear Control on behalf of Belgium: Fifth meeting of the Contracting Parties to the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, NATIONAL REPORT. 142 S., 2014.
- /HAV 14/ Haverkamp, B., van Marcke, P.: Endlagerung hochaktiver und langlebiger radioaktiver Abfälle in Belgien, Stand der konzeptionellen Planung für ein zukünftiges geologisches Endlager. Präsentation, 3. Essener Fachgespräch Endlagerbergbau, Deutsche Montan Technologie (DMT), 2014.
- /NEA 04/ Organization for Economic Co-operation and Development - Nuclear Energy Agency (OECD-NEA) in co-operation with the European Commission: Engineered Barrier Systems (EBS), Design requirements and constraints ; Workshop Proceedings, Turku, Finland, 26-29 August 2003. Radioactive Waste Management, NEA No. 4548, 145 S., ISBN 92-64-02068-3, Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development: Issy-les-Moulineaux, France, 2004.
- /PIE 06/ Pierre De Cannière: Supercontainer Concept Slides Collection, European Underground Research Infrastructure for Disposal of nuclear waste in Clay Environment. Präsentation, ESV EURIDICE GIE, 2006.
- /PIR 13/ Pirot, V.: RD&D plan, for the geological disposal of high-level and/or long-lived radioactive waste including irradiated fuel if considered as waste, State-of-the-art report as of December 2012. Hrsg.: Belgian agency for radioactive waste and enriched fissile materials (ONDRAF/NIRAS), NIRONDT-TR 2013-12 E, 411 S., 2013.
- /SCK 06/ Studiecentrum voor Kernenergie Centre D'Etude De L'Energie Nucleaire (SCK-CEN): Safety assessment for geological disposal. erreichbar unter [http://science.sckcen.be/en/Disposal\\_radioactive\\_waste/Safety\\_assessment\\_geological\\_disposal](http://science.sckcen.be/en/Disposal_radioactive_waste/Safety_assessment_geological_disposal), Stand von 2006.
- /VEH 16/ Vehmas Tapio, Holt Erika: CEBAMA, WP1 Experimental studies – State of the art literature review. European Commission (EC), HORIZON 2020, 237 S., 22. März 2016.

/ZIE 08/ Ziegenhagen, J.: Technische Endlagerkonzepte, Entwicklung und Umsetzung von technischen Konzepten für geologische Endlager in allen Wirtsgesteinen (EUGENIA), Bericht zum AP 5. DBE TECHNOLOGY GmbH (DBETEC), TEC-10-2008-AP, 146 S.: Peine, September 2008.

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Abfallklassifizierung in Belgien /PIE 06/ .....	1
Abb. 3.1	Querschnitt einer Einlagerungsstrecke für Klasse-C-Abfälle /DEP 17/ .....	7
Abb. 3.2	Das Layout für ein Endlager in Belgien /DEP 17/ .....	7
Abb. 3.3	Querschnitt einer Einlagerungsstrecke für Klasse-B-Abfälle /DEP 17/ .....	8
Abb. 3.4	Das Layout für ein Endlager in Belgien /DEP 17/ .....	9
Abb. 3.5	Geplanter Füllort der Einlagerungssohle mit Förderkorb und Auf- bzw. Abschiebeeinrichtungen /HAV 14/ .....	10
Abb. 3.6	Querschnitt eines Einlagerungstunnels /HAV 14/ .....	11
Abb. 3.7	Konzept zur abschnittswisen Verfüllung /ZIE 08/ .....	12
Abb. 3.8	Container-Konzept für langlebige, mittelradioaktive Abfälle (Klasse B) in Belgien /VEH 16/ .....	14
Abb. 3.9	Angaben zu den verschiedenen Supercontainertypen /ZIE 08/ .....	15
Abb. 3.10	Supercontainer-Konzept für wärmeentwickelnde, radioaktive Abfälle (Klasse C) in Belgien /VEH 16/ .....	15
Abb. 3.11	Querschnitt der HAW-Einlagerung im Supercontainer /ZIE 08/ .....	16
Abb. 3.12	Streckenlagerung Supercontainer HAW-Kokillen /ZIE 08/ .....	16
Abb. 3.13	Querschnitt von BE-Einlagerung im Supercontainer /ZIE 08/ .....	17
Abb. 3.14	Längsschnitt der BE-Einlagerung im Supercontainer /ZIE 08/ .....	17
Abb. 4.1	Hierarchische Ableitung von Anforderungen an ein Endlager in Belgien /PIR 13/ .....	22

**Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) gGmbH**

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Boltzmannstraße 14

**85748 Garching b. München**

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200

**10719 Berlin**

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4

**38122 Braunschweig**

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

[www.grs.de](http://www.grs.de)

**ISBN 978-3-946607-54-0**