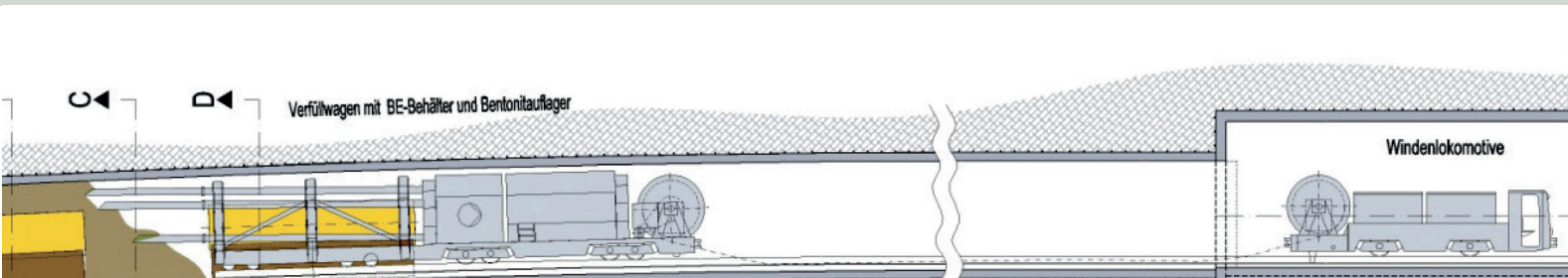




Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI  
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN  
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN  
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI



## Verschlussmassnahmen in Krisensituationen

Expertenbericht

Peter Jost, Lorenza Sabbadin, Matthias Sommer

Basler & Hofmann AG

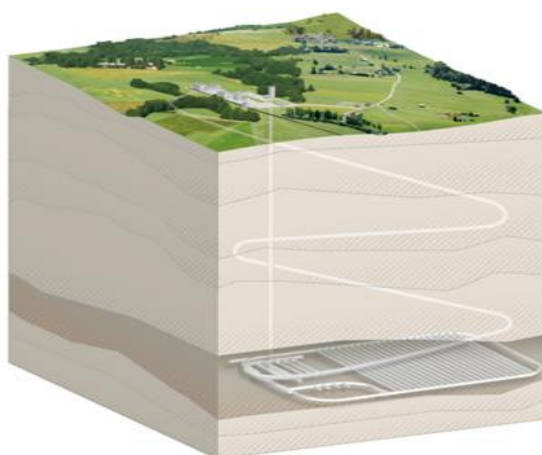
Dezember 2018



# Verschlussmassnahmen in Krisensituationen

---

**Kunde**  
ENSI  
Industriestrasse 19  
5200 Brugg  
—  
**Datum**  
12. Dezember 2018



## **Impressum**

### **Datum**

12. Dezember 2018

### **Bericht-Nr.**

3210.350\_33

### **Verfasst von**

Peter Jost

Lorenza Sabbadin  
Matthias Sommer

Basler & Hofmann AG  
Ingenieure, Planer und Berater

Bachweg 1  
Postfach

CH-8133 Esslingen  
T +41 44 387 15 22  
F +41 44 387 15 00

### **Berichtbegleiter**

Eduard Feldbaumer, ENSI

### *Disclaimer*

*Die im Bericht dokumentierten Ansichten und Schlussfolgerungen sind diejenigen der Autoren und stimmen nicht notwendigerweise mit denen des ENSI überein.*

### *Titelbild*

*Vorhaben 'HAA-Lager' – Anforderungen, Randbedingungen und modellhafte Umsetzung im Rahmen der Kostenstudie 2016, Nagra unpubl. interner Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen*



# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1.</b>	<b>Ausgangslage und Projektziele</b>	<b>3</b>
1.1	Allgemein	3
1.2	Auftrag und Ziel	4
1.3	Grundlagen	4
1.4	Leitfragen des ENSI	4
<b>2.</b>	<b>Beschreibung des geplanten Tiefenlagers</b>	<b>5</b>
2.1	Hauptelemente des HAA-Tiefenlagers	5
2.2	Zeitphasen	6
2.3	Beschreibung Einlagerung und Verschluss	7
<b>3.</b>	<b>Betrachtungsfokus und Abgrenzung</b>	<b>10</b>
3.1	Örtliche Abgrenzung	10
3.2	Zeitliche Abgrenzung	11
3.3	Thematische Abgrenzung	13
<b>4.</b>	<b>Szenarienanalyse und Massnahmenempfehlungen</b>	<b>14</b>
4.1	Szenarienanalyse	15
4.2	Charakterisierung des Kontrollverlustes	16
4.3	Auswirkungen auf das Lager	17
4.4	Massnahmen	19
4.4.1	Auslegungsbeeinflussende Massnahmen	20
4.4.2	Vorbereitete Massnahmen und Entscheide	21
4.5	Übergeordnete Massnahmen und Überlegungen	22
4.6	Empfehlungen	25
<b>5.</b>	<b>Fazit</b>	<b>25</b>

## Zusammenfassung

Forderung EKRA nach Schnell- und Selbstverschluss

In der Schweiz ist vorgesehen, dass die radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager langfristig sicher eingeschlossen werden. Bedingt durch die langen Zeiträume bis zum definitiven Verschluss des geplanten Tiefenlagers in wahrscheinlich mehr als 100 Jahren besteht jedoch die Gefahr, dass zum Beispiel durch gesellschaftliche Entwicklungen oder äussere Einwirkungen die Kontrolle über das Lager und damit die Abfälle verloren gehen könnte. Die EKRA forderte daher in ihren Berichten, dass auch in Krisensituationen die Sicherheit des Tiefenlagers gewährleistet sein muss und dass dafür Massnahmen für den raschen Verschluss des Lagers in Form von Schnell- und Selbstverschluss zu prüfen sind.

Studie von G. Klubertanz (2007)

Im Auftrag des ENSI wurde 2007 durch G. Klubertanz et al. eine erste Studie zum Thema "Schnell-/Selbstverschluss" in Krisensituationen verfasst, welche zum Schluss kommt, dass es vorbeugende Massnahmen bei Planung, Auslegung und Betrieb braucht, um die Sicherheit des Tiefenlagers in einer Krisensituation sicherstellen zu können. Aufbauend auf der Arbeit von Klubertanz wird in der vorliegenden Studie die Thematik weiter vertieft und anhand des aktuellen Lagerkonzepts der Nagra werden Massnahmen zur Minimierung der Auswirkungen eines Kontrollverlustes erarbeitet.

Fokus der Studie auf HAA-Lager

Der Fokus der Studie liegt auf den untertägigen Bauwerksteilen des HAA-Lagers während der Einlagerungs- und Beobachtungsphase und fokussiert auf Situationen, in welchen keine aktive Kontrolle mehr durch den Betreiber oder den Staat über das Lager ausgeübt werden kann. Ein Kontrollverlust durch einen Störfall während des Betriebs oder bedingt durch terroristische Aktivitäten wird hierbei nicht betrachtet.

Zielführendes Konzept der Nagra

Die vorliegende Studie kommt zum Schluss, dass mit dem aktuellen Lagerkonzept der Nagra schon viel erreicht ist, um negative Auswirkungen auf das Tiefenlager im Fall eines Kontrollverlustes zu reduzieren. Weitere Optimierungen sind aus Sicht der Autoren dieser Studie möglich, entsprechende Massnahmen sind im Kapitel 4.4 aufgeführt. Das grösste Potential zur Risikominimierung liegt nach Ansicht der Studienautoren jedoch in einer kritischen Hinterfragung des Prozesses bis zum Verschluss des Hauptlagers.

Verzicht auf Beobachtungsphase prüfen

Die Wahrscheinlichkeit eines Kontrollverlustes über das Lager wird grösser, je länger das Projekt bis zum Verschluss des Lagers dauert. Massgebend für die Dauer ist dabei die Beobachtungsphase, welche mehrere Jahrzehnte oder gar über 100 Jahre dauern kann. Die Autoren dieser Studie empfehlen, eine sorgfältige Abwägung aller Chancen und Risiken der geplanten Beobachtungsphase vorzunehmen unter Berücksichtigung der Risiken eines möglichen Kontrollverlustes über das Lager während dieser Phase. Sollte der Nutzen der Beobachtungsphase nicht eindeutig belegt werden können, empfehlen sie auf die Beobachtungsphase zu verzichten und das Lager möglichst bald nach Abschluss der Einlagerung zu verschliessen.

kritische Betrachtung des Verfahrens wäre hilfreich

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sind im Hinblick auf die Standortwahl des Tiefenlagers auch unter dem Gesichtspunkt eines potentiellen Kontrollverlustes über das Lager in der Zukunft adäquat. Die darüber hinaus gehenden Rahmenbedingungen für die weitere Projektentwicklung berücksichtigen nach Ansicht der Autoren die Möglichkeit eines Kontrollverlustes über die Abfälle jedoch nur am Rande. Eine kritische

Betrachtung und Diskussion dieses Themas gerade auch im Hinblick auf die Baubewilligung könnte zu einer sicherheitsgerichteten Optimierung des Verfahrens zur Realisierung eines Tiefenlagers beitragen.



# 1. Ausgangslage und Projektziele

## 1.1 Allgemein

Ausgangslage

In der Schweiz ist vorgesehen, dass radioaktive Abfälle in einem geologischen Tiefenlager langfristig sicher eingeschlossen werden und damit der Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung der Abfälle durch passive geologische Barrieren sichergestellt wird. Nach aktueller Zeitplanung wird davon ausgegangen, dass ab 2060 während ca. 15 Jahren die Abfälle ins Tiefenlager für hochaktive Abfälle (HAA-Lager) verbracht werden. Nach Abschluss des Einlagerungsbetriebs kann das Lager über mehrere Jahrzehnte beobachtet werden, bevor es endgültig verschlossen wird. Dieses Konzept der geologischen Tiefenlagerung vereint das Konzept der Endlagerung in geeigneten geologischen Formationen mit der Möglichkeit einer Rückholung der Abfälle vor dem endgültigen Verschluss des Tiefenlagers. Dabei sollen den künftigen Generationen keine unzumutbaren Lasten und Verpflichtungen auferlegt werden.

Forderung von EKRA und ENSI

In Berichten der EKRA ([2] und [3]) wird die Forderung gestellt, dass auch in Krisensituationen die Sicherheit des Tiefenlagers gewährleistet sein muss und dass dafür Massnahmen für den raschen Verschluss in Form von Schnell-/Selbstverschluss zu prüfen sind. In Anlehnung an die Gedanken der EKRA fordert das ENSI in seiner Richtlinie G03 [1] für den Fall eines drohenden Verlustes der Kontrolle über das Tiefenlager technische und betriebliche Vorkehrungen für einen temporären Verschluss, um das Tiefenlager rasch in einen passiv sicheren Zustand überführen zu können.

Vorgängerstudie

In einer Studie zum Thema "Schnell-/Selbstverschluss" in Krisensituationen kommt G. Klubertanz et al. [6] zum Schluss, dass die möglichen technischen Massnahmen für einen mechanischen Selbstverschluss beschränkt sind und stellt ausserdem fest, dass es vorbeugende Massnahmen bei Planung, Auslegung und Betrieb braucht, um die Sicherheit des Tiefenlagers in einer Krisensituation sicherstellen zu können. Er hält auch fest, dass ein Kontrollverlust über das Lager in den langen Zeiträumen bis zum endgültigen Verschluss durchaus realistisch ist, zum Beispiel bedingt durch gesellschaftliche Entwicklungen oder kriegerische Ereignisse. Ein Kontrollverlust über das Lager und damit über die Abfälle ist hierbei nicht mit einer direkten Freisetzung von radioaktiven Stoffen gleichzusetzen. Vielmehr kann dies unter dem Gesichtspunkt der Optimierung der Langzeitsicherheit von Bedeutung sein.

Begriffsdefinitionen

Basierend auf den Berichten der EKRA ([2] und [3]) sind verschiedene Begriffe für Verschlüsse verwendet worden. Die Begriffe der EKRA werden nachstehend erwähnt und basierend auf den Formulierungen in den Berichten definiert.

- \_ **Schnellverschluss:** Rascher Verschluss des geologischen Tiefenlagers in Krisensituationen [3]
- \_ **Selbstverschluss:** Passiv, also ohne menschliche Interaktion, ausgelöster und ablaufender Schnellverschluss (z.B. durch technische Verschlussmechanismen oder geologische Prozesse) [3]

Ziel	<p><b>1.2 Auftrag und Ziel</b></p> <p>Mit der vorliegenden Studie "Verschlussmassnahmen in Krisensituationen" soll aufbauend auf der Studie von G. Klubertanz et al. [6] die Thematik weiter vertieft und der regulatorische Handlungsbedarf geklärt werden. Die Notwendigkeit von raschen Verschlussmassnahmen in Krisensituationen ist abzuklären mit Fokus auf die Einlagerungs- und Beobachtungsphase am Beispiel des HAA-Lagers. Die möglichen Verschlussmassnahmen müssen die Rückhaltung der Radionuklide garantieren und dürfen die Betriebs- und Langzeitsicherheit nicht gefährden. Aufbauend auf einer Szenarien- und Systemanalyse sind Anforderungen an die Verschlussmassnahmen abzuleiten und Erkenntnisse für die Revision der Richtlinie ENSI-G03 zu gewinnen.</p>
Verwendete Grundlagen	<p><b>1.3 Grundlagen</b></p> <p>Die für diese Studie berücksichtigten, tiefenlagerspezifischen Unterlagen sind im Folgenden aufgelistet:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>[1] Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, ENSI-G03, April 2009</li><li>[2] Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle, EKRA, 31. Januar 2000</li><li>[3] Beitrag zur Entsorgungsstrategie für radioaktiven Abfälle in der Schweiz, EKRA, Oktober 2002</li><li>[4] Kernenergiegesetz (KEG), 21. März 2003</li><li>[5] Kernenergieverordnung (KEV), 10. Dezember 2004</li><li>[6] Self closure mechanism for underground waster repositories, G. Klubertanz, P. Hufschmied, E. Frank, 2007</li><li>[7] Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung radioaktiver Abfälle, B;S;S. Volkswirtschaftliche Beratung in Kooperation mit Basler&amp;Hofmann, Dr. Andreas M. Walker Strategieberatung und EMPA, 22. März 2013</li><li>[8] NTB 16-01, Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen, Nagra, Dezember 2016</li><li>[9] Nagra (2016): Vorhaben 'HAA-Lager' – Anforderungen, Randbedingungen und modellhafte Umsetzung im Rahmen der Kostenstudie 2016, Nagra unpubl. Interner Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.</li></ul>
Leitfragen des ENSI	<p><b>1.4 Leitfragen des ENSI</b></p> <p>Das ENSI hat für die vorliegende Aufgabenstellung Leitfragen formuliert. Im Laufe der Studienerarbeitung hat sich der Fokus der Betrachtung von der technischen Ebene hin zu konzeptionellen und übergeordneten Aspekten verschoben. In der vorliegenden Studie wird daher nicht auf jede Frage explizit eingegangen, sondern sie werden implizit beantwortet.</p> <p>Folgende Leitfragen wurden formuliert:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1. Wie sieht der Ablauf der Einlagerungsphase des HAA-Lagers aus?</li><li>2. Welche Krisensituationen, die Massnahmen zum raschen Verschluss eines Lagers notwendig machen, können auftreten?</li><li>3. Welche Massnahmen kommen dafür in Frage?</li><li>4. Welche Anforderungen sind an solche Massnahmen zu stellen?</li></ul>

5. Wie sind die Massnahmen im Kontext der Langzeitsicherheit eines HAA-Tiefenlagers zu beurteilen?
6. Welche Untertagebauwerke sind während der Beobachtungsphase des HAA-Lagers noch offen, und welche Notwendigkeiten von Verschlussmassnahmen ergeben sich daraus in Krisensituationen?
7. Mit welchen Massnahmen bei Planung, Auslegung und Betrieb eines HAA-Lagers können Gefährdungen in Krisensituationen begegnet werden?

## 2. Beschreibung des geplanten Tiefenlagers

Beschreibung des HAA-Lagers

In den folgenden Kapiteln 2.1 bis 2.3 wird das HAA-Lager beschrieben basierend auf dem modellhaften Basisprojekt der Nagra [9], welches als Grundlage für die Kostenstudie 2016 diente. Dabei werden die Hauptelemente vorgestellt, die Zeitphasen bis zum Verschluss des Gesamtlagers erläutert und der Ablauf der Einlagerung der Endlagerbehälter sowie der Verschluss des Lagers dargestellt. Die Beschreibungen im vorliegenden Bericht sind im Wesentlichen aus [9] entnommen respektive basierend auf den Beschreibungen in [9] zusammengefasst. Das LMA-Lager als möglicher Teil des HAA-Tiefenlagers wird für dieses Projekt jedoch nicht betrachtet und wird dementsprechend an dieser Stelle auch nicht beschrieben.

### 2.1 Hauptelemente des HAA-Tiefenlagers

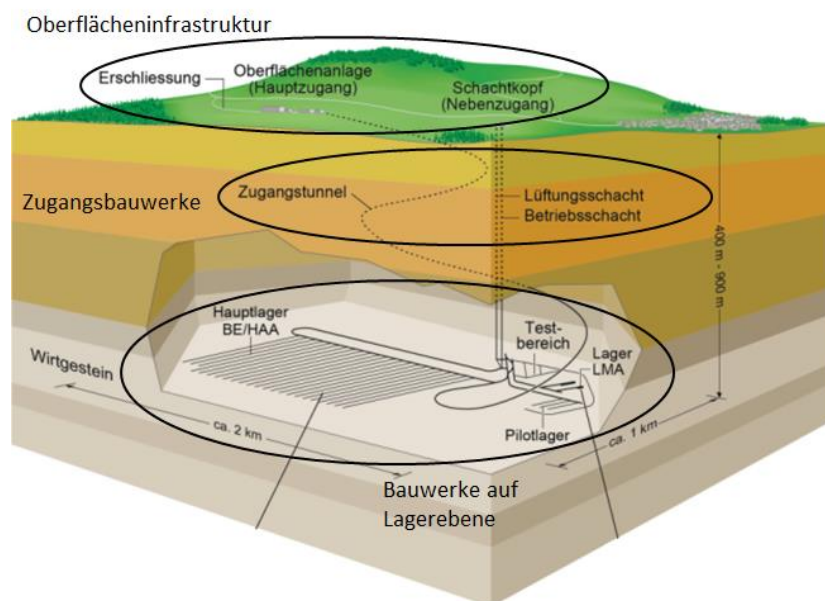


Abbildung 1: HAA-Lager mit Hauptelemente aus [9]

Hauptelemente

Das Tiefenlager besteht aus folgenden Elementen (Abbildung 1):

- \_ Die **Oberflächeninfrastruktur** dient zur Anlieferung und Verpackung der Abfälle, die im Tiefenlager eingelagert werden. Diese Objektgruppe wird für dieses Projekt nicht betrachtet (siehe Absatz 3.1 ).
- \_ Die **Zugangsbauwerke** des HAA-Lagers gemäss Basisprojekt bestehen aus einer Rampe und zwei Schächten. Es gibt verschiedene Auslegungsvarianten für diese

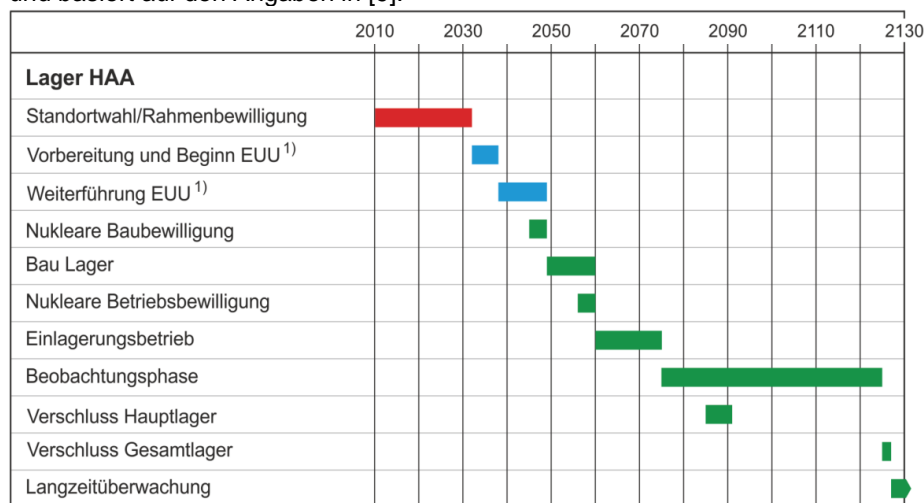
Zugänge. Die genaue Ausbildung ist vom Standort abhängig und wird deswegen in einer späteren Phase der Realisierung des Tiefenlagers festgelegt.

- \_ Die **Bauwerke auf Lagerebene** umfassen ein Hauptlager, ein Pilotlager und einen Testbereich.
  - \_ Im *Hauptlager* werden die in Endlagerbehälter verpackten hochaktiven Abfälle eingelagert. Die Lagerfelder bestehen aus den Lagerstollen (Hohlräume zur dauerhaften Einlagerung) und den Lagerfeldzugängen. Die Länge und Anordnung der Lagerstollen können so angepasst werden, dass das Platzangebot in der Lagerzone optimal genutzt werden kann.
  - \_ Das *Pilotlager* dient zur Überwachung des Verhaltens des geologischen und bautechnischen Barrierensystems anhand einer kleinen, repräsentativen Abfallmenge und ist wie das Hauptlager ausgebildet, jedoch viel kleiner als dieses.
  - \_ Der *Testbereich* ist ein integraler Bestandteil des geologischen Tiefenlagers und dient der standortspezifischen Bestimmung der sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises.

**2.2 Zeitphasen**

Phasen der Realisierung

Die wichtigsten Phasen zur Realisierung des HAA-Lagers sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Dauer der einzelnen Phasen wurde für die Kostenstudie 16 geschätzt und basiert auf den Angaben in [9].



<sup>1)</sup> EEU: Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag

**Abbildung 2: Realisierungsplan zum Vorhaben "HAA-Lager", Basisprojekt aus[9]**

Rahmenbewilligung bis zur nukleare Betriebsbewilligung

Der Lebenszyklus des geologischen Tiefenlagers beginnt mit der Projektierungsphase, in welcher u.a. der Standort ausgewählt wird (Standortwahl/Rahmenbewilligung). Als Vorbereitung für die Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag (EEU) werden zwei getrennte Zugänge nach untertag erstellt (z. B. Schächte wie in Abbildung 3). Ziel der EEU ist die Bestätigung der Eignung der Lagerzone durch Untersuchungen am effektiven Wirtgestein sowie die Bereitstellung der Grundlagen für die Erteilung der nuklearen Baubewilligung.

Mit der nuklearen Baubewilligung kann der Vortrieb der Betriebs- und Baustollen sowie der Pilotlagerkammern (Bau Lager) beginnen. Die Einlagerung von radioaktiven

Abfällen im Tiefenlager (Einlagerungsbetrieb) kann nach der Erteilung der nuklearen Betriebsbewilligung erfolgen. Zu Beginn werden die Abfälle in den Lagerkammern des Pilotlagers eingelagert. Die Kammern werden dabei laufend verfüllt und schlussendlich versiegelt. Anschliessend wird mit der Einlagerung im Hauptlager begonnen.

Einlagerungsbetrieb

Im Hauptlager werden parallel zur Einlagerung der HAA-Endlagerbehälter die jeweils benötigten HAA-Lagerstollen maschinell aufgeföhren und die vollen Lagerstollen versiegelt. Nach Abschluss der Einlagerung aller Abfälle beginnt die Beobachtungsphase.

Beobachtungsphase

Die Beobachtungen umfassen die Messung der Zustandsparameter im Pilotlager, in Sondierbohrungen und in den Testbereichen. Dazu bleibt die Lagerebene weiterhin über zwei bestehende Zugänge erschlossen. Während der Beobachtungsphase erfolgt der Verschluss des Lagers in mehreren Etappen mit verschiedenen, gestaffelten Versiegelungsbauwerken und der Verfüllung der übrigen Hohlräume (Verschluss Haupt- und Gesamtlager). Anschliessend an den Verschluss des Gesamtlagers ist eine Langzeitüberwachung der Umwelt vorgesehen.

### 2.3 Beschreibung Einlagerung und Verschluss

Einlagerung und Bau der Lagerstollen

In der Einlagerungsphase erfolgen der Bau der Lagerstollen und die Einlagerung der Endlagerbehälter gleichzeitig. In dieser Phase werden mindestens ein Hauptzugang und ein Nebenzugang betrieben. Die Zugänglichkeit zur Lagerebene und teilweise bis in die Lagerstollen ist durch diese Zugänge für die gesamte Phase möglich (Abbildung 3). Über die Nebenzugänge (Schächte in Abbildung 3) wird die Frischluftversorgung, der Bau weiterer HAA-Lagerstollen, der Besucherbetrieb und die Ver- und Entsorgung sichergestellt. Über den Hauptzugang (Rampe in Abbildung 3) erfolgt der Transport der Abfälle und der Verfüllmaterialien von der Oberflächenanlage in den Lagerbereich.

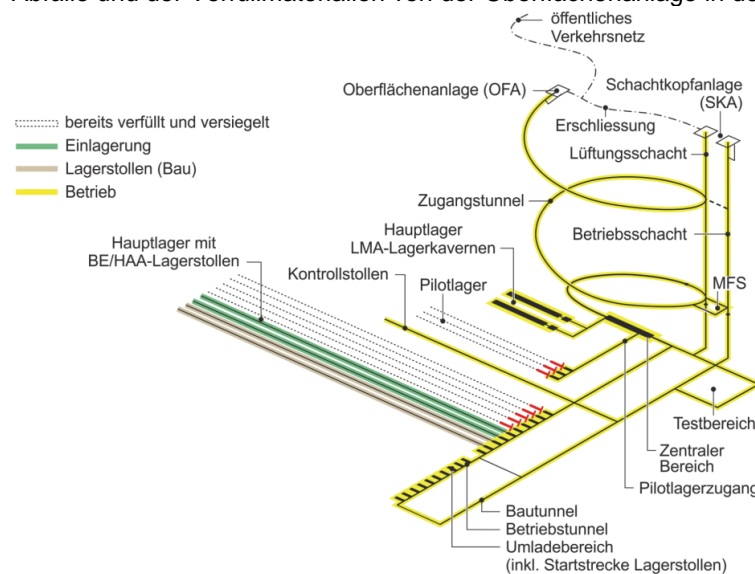


Abbildung 3: Schematische Darstellung des HAA-Lagers in der Einlagerungsphase [9]

Ablauf der Einlagerung

Im Einlagerungsbetrieb wird der Endlagerbehälter bis in den Umladebereich vor dem Lagerstollen transportiert und zusammen mit dem vorgängig transportierten Bentonitaufleger bis zur Einlagerungsposition im Lagerstollen gebracht und dort

abgesetzt. Während der Einlagerung wird jeweils nur ein Endlagerbehälter gleichzeitig ins Lager transportiert, gehandhabt und eingelagert.

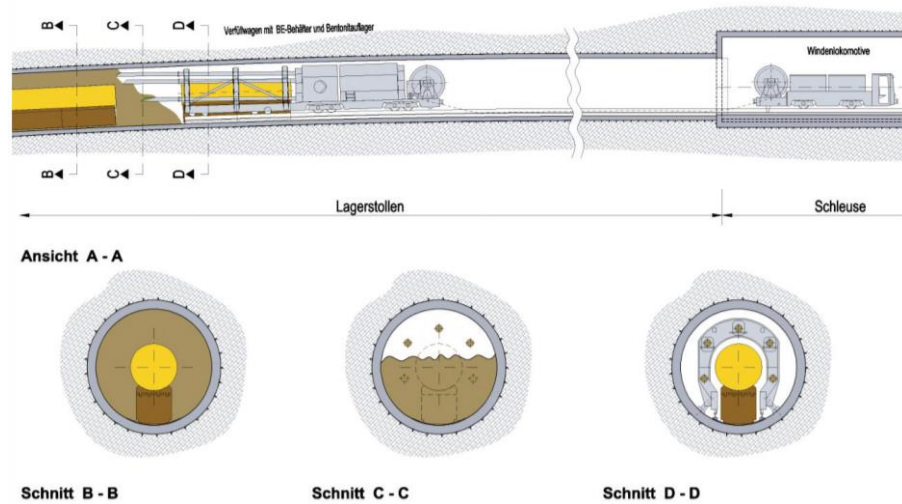


Abbildung 4: Verfüllung Endlagerbehälter, Ansicht und Schnitte aus [9]

Verfüllung

Nach der Platzierung des Endlagerbehälters im Lagerstollen wird mittels Transportwagen Bentonitgranulat bis zur Einlagerungsposition gebracht. Mit Hilfe einer schneckengeführten Verfüllmaschine wird der Bereich des Lagerstollens um die HAA-Endlagerbehälter mit dem Bentonitgranulat verfüllt (Abbildung 4).

Versiegelung

Nach vollständiger Verfüllung eines Lagerstollens wird dieser verschlossen und versiegelt. Die Versiegelung am Ende der HAA-Lagerstollen ist mit Dichtelementen aus hochwertigem Bentonit oder Sand-Bentonitgemisch geplant (Abbildung 5).

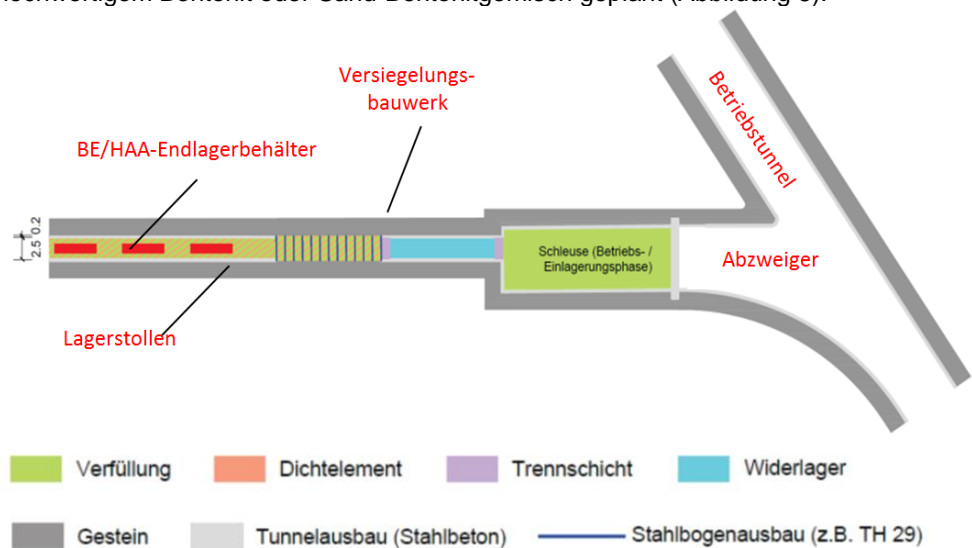


Abbildung 5: Versiegelung am Ende der HAA-Lagerstollen [9]

Zu Beginn der Beobachtungsphase sind alle Lagerstollen verfüllt und versiegelt. Die Zugänglichkeit bis auf Lagerebene, jedoch nicht in die Lagerstollen, ist bis zum Verschluss des Hauptlagers möglich (Abbildung 6).

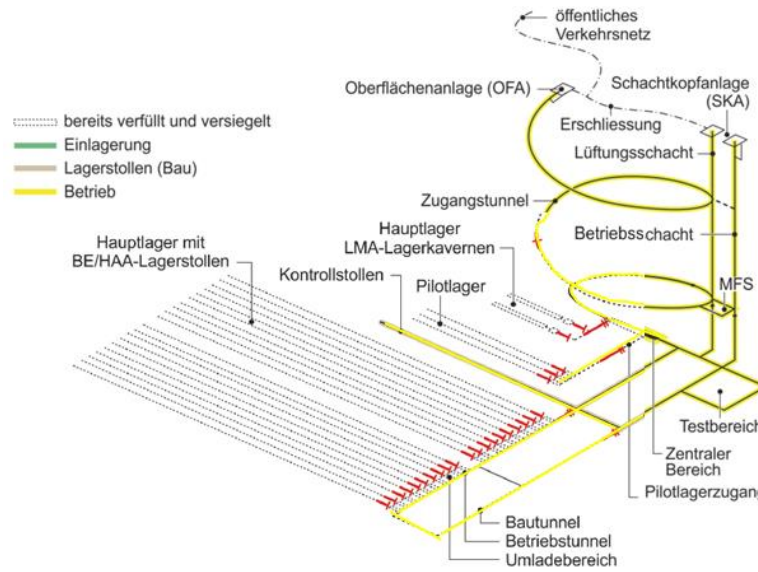


Abbildung 6: Schematische Darstellung des HAA-Lagers nach Abschluss der Einlagerungsphase [9]

Verschluss des Hauptlagers

Ca. 10 Jahre nach Ende des Einlagerungsbetriebs beginnt der Verschluss des Hauptlagers mit der Verfüllung der Betriebs-, Bau- und Lüftungstunnel auf Lagerebene. Nach Abschluss der Verfüllarbeiten wird das Lagerfeld mit einer Versiegelung permanent verschlossen. Der nicht mehr benötigte Hauptzugang wird gleichzeitig verfüllt und verschlossen. Bis zum Verschluss des Gesamtlagers werden aus Gründen der Betriebssicherheit der Betriebs- und der Lüftungsschacht noch offen gehalten.

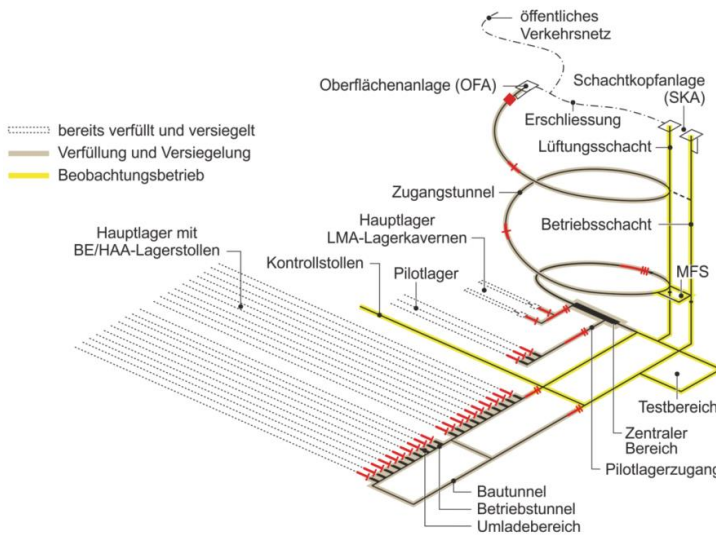


Abbildung 7: Schematische Darstellung des HAA-Lagers nach dem Verschluss des Hauptlagers [9]

Nach dem Verschluss des Hauptlagers sind noch die Bauwerke für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen, der Kontrollstollen, der Zentrale Bereich sowie der Betriebs- und der Lüftungsschacht offen und zugänglich (Abbildung 7). Die Kontrollstollen ermöglichen den Zugang zu den Messeinrichtungen des Pilotlagers. Es ist vorgesehen, dass dieser Zustand mehrere Jahrzehnte dauern soll.

Verschluss des Gesamtlagers Nach Beendigung der Beobachtungsphase kommt es zum Verschluss des Gesamtlagers. Dies beinhaltet die Verfüllung der noch offenen untertägigen Bereiche inklusive der letzten Zugänge. Die Versiegelungen müssen in allen Zugängen an der Schichtgrenze des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs erstellt werden. Die Bauwerke auf Lagerebene und die Zugangsbauwerke bis auf Höhe des Opalinuston werden mit einem Sand-Bentonitgemisch verfüllt. Die restlichen Teile der Zugangsbauwerke werden mit Ausbruchmaterial verfüllt.

### 3. Betrachtungsfokus und Abgrenzung

Definition Kontrollverlust Die vorliegende Studie fokussiert auf die Thematik eines möglichen Kontrollverlustes über das Tiefenlager in Krisenzeiten. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Kontrollverlust so verstanden, dass der Verschluss des geologischen Tiefenlagers nicht mehr im Sinne des geplanten Projektes garantiert werden kann, obwohl dies zum Zeitpunkt der eintretenden Krise so gewollt gewesen wäre. Dies könnte beispielsweise durch eine langandauernde wirtschaftliche Krise ausgelöst werden, so dass das Tiefenlager aufgrund der fehlenden Ressourcen nicht mehr betrieben werden kann. Ein im Jahr 2090 herrschendes totalitäres Regime mit destruktiven Absichten ist hingegen nicht unter dem Aspekt eines Kontrollverlustes zu betrachten, da es seine Entscheide bewusst fällen kann, auch wenn diese unseren heutigen ethischen und moralischen Grundsätzen widersprechen mögen. Die im Rahmen dieser Studie diskutierten Anforderungen und Massnahmen zum Verschluss des Lagers haben eine solche Entwicklung nicht zu adressieren respektive zu verhindern.

Grundsätze für Anforderungen an das Schutzniveau Nachfolgend werden bezüglich Anforderungen an das Schutzniveau der radioaktiven Abfälle zwei Grundsätze formuliert. Erstens wird davon ausgegangen, dass die Anforderung an das Schutzniveau ortsunabhängig ist. Das heisst, dass zum Beispiel die Anforderungen an den Schutz von abgebrannten Brennelementen an einem Standort A nicht deutlich höher sein müssen als an einem Standort B. Zweitens wird davon ausgegangen, dass das heutige Schutzniveau eine akzeptable Orientierungsgrösse darstellt auch für die Anforderungen in den kommenden Jahren und dass nicht phasenabhängig deutlich höhere Schutzniveaus zu erreichen sind.

Die oben erläuterten Überlegungen zum Kontrollverlust sowie zu den Grundsätzen bezüglich Anforderungen an das Schutzniveau führen zu örtlichen, zeitlichen und thematischen Abgrenzungen dieser Studie, welche in den folgenden Unterkapiteln erläutert werden.

#### 3.1 Örtliche Abgrenzung

untertägige Anlagen Im Vordergrund der Betrachtung stehen die untertägigen Anlagen des geologischen Tiefenlagers. Die Oberflächenanlage wird im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet, da hier dieselben Vorgaben wie für andere Kernanlagen gelten. Eine Betrachtung der Oberflächenanlage wäre im Rahmen einer umfassenden Gesamtstudie zu den Risiken eines Kontrollverlustes angezeigt, welche auch bei Kernkraftwerken und speziell beim ZWILAG das Thema eines möglichen Kontrollverlustes in Krisensituationen betrachten würde.



HAA-Tiefenlager

Die Notwendigkeit rascher Verschlussmassnahmen in Krisensituationen wird am Beispiel eines HAA-Tiefenlagers untersucht. Hochaktive Abfälle respektive Brennelemente weisen bei einem Kontrollverlust im Vergleich zu schwach- und mittelaktiven Abfällen ein wesentlich grösseres Schadenspotential auf. Bei einer Krisensituation ist zudem zu erwarten, dass radioaktive Stoffe auch ausserhalb der Entsorgungskette beispielsweise in Spitälern, Forschungseinrichtungen oder bei Industriebetrieben vorhanden sind. Ausserdem können konventionelle Gefahrstoffe, welche in grossen Mengen in verschiedenen Betrieben vorhanden sind, ein mit schwach- und mittelaktiven Abfällen vergleichbares Schadenspotential aufweisen. Somit würde ein Einbezug eines SMA-Lagers in den Betrachtungshorizont der Studie die sich stellenden Herausforderungen nur bedingt adressieren.

LMA-Lagerkavernen und Kombilager nicht betrachtet

Die separate Betrachtung eines Kombilagers wie auch der LMA-Lagerkavernen (Langlebige Mittelaktive Abfälle) würde keine grundlegend neuen Erkenntnisse liefern im Vergleich zum betrachteten HAA-Lager. Das SMA- und das Kombilager wie auch die LMA-Lagerkavernen werden daher im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet.

Die örtliche Abgrenzung des Betrachtungsfokus dieser Studie ist in Abbildung 8 dargestellt. Betrachtet werden die rot eingerahmten Bereiche.

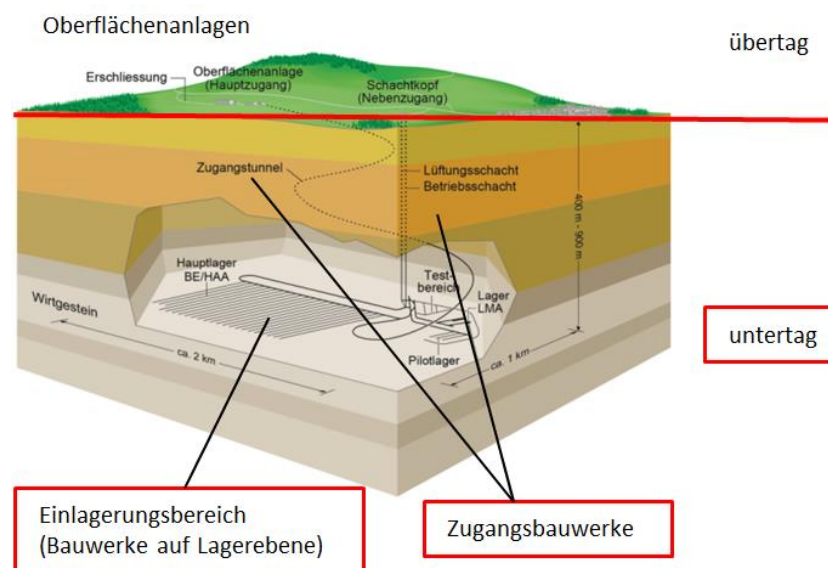


Abbildung 8: Örtliche Abgrenzung des Projekts

### 3.2 Zeitliche Abgrenzung

Einlagerungsphase und Beobachtungsphase

Die Realisierungsphasen, in welchen ein Kontrollverlust über das Tiefenlager die Rückhaltung der Radionuklide gefährden könnte, sind der Einlagerungsbetrieb und die Beobachtungsphase. Der betrachtete Zeitraum beträgt ca. 65 Jahren gem. [9], könnte aber auch deutlich kürzer oder länger sein. Die Auswirkungen eines Kontrollverlustes auf das Tiefenlager unterscheiden sich in Abhängigkeit der Realisierungsphase, in welcher er auftritt. Für eine systematische Analyse werden die Betrachtungsphasen, wie in Abbildung 9 dargestellt, definiert.

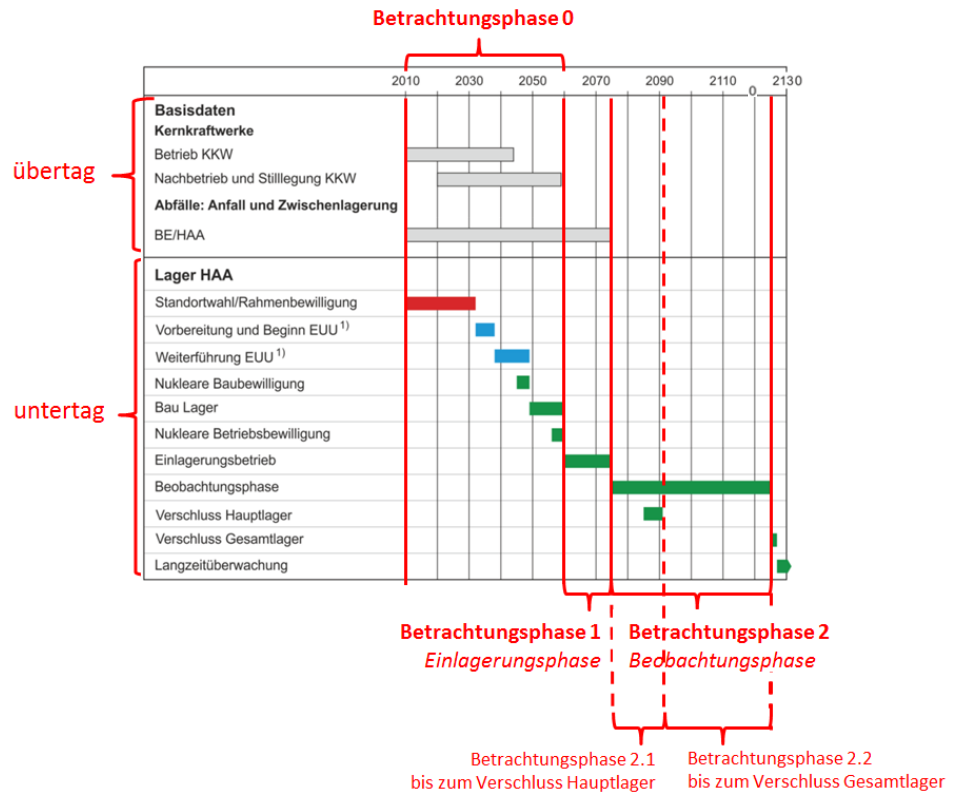


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Realisierungsplan und der Betrachtungsphasen

**Betrachtungsphase 0**

Heute bis Beginn Einlagerung

Mit der Betrachtungsphase 0 wird die Zeitspanne von heute bis zum Beginn des Einlagerungsbetriebs definiert. In dieser Phase sind die gesamten radioaktiven Abfälle noch übertag. Mit der Vorbereitung und dem Beginn der EUU fängt der Bau des Tiefenlagers an, jedoch dürfen ohne nukleare Betriebsbewilligung keine Abfälle eingelagert werden. Ein Kontrollverlust über das Tiefenlager in Betrachtungsphase 0 ist deswegen für die Rückhaltung der Radionuklide im Tiefenlager nicht relevant. Aus diesem Grund wird diese Phase im Rahmen dieses Projekts nicht betrachtet. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Exposition der Abfälle vor Beginn der Einlagerung am grössten ist und damit auch die potentiellen Konsequenzen eines Kontrollverlustes ausgelöst beispielsweise durch einen gesellschaftlichen Kollaps.

**Betrachtungsphase 1**

Einlagerungsbetrieb

Die Betrachtungsphase 1 entspricht dem Einlagerungsbetrieb und hat gemäss [9] eine geschätzte Dauer von 15 Jahren. Diese Phase beginnt mit dem Beginn der Einlagerung der ersten Abfälle und endet mit der Einlagerung der letzten Abfälle. Die Exposition der Abfälle verlagert sich im Verlauf der Betrachtungsphase von sich ausschliesslich an der Oberfläche befindend (hauptsächlich im ZWILAG) zu vollständig eingelagert in versiegelten Lagerkammern. Über diesen Zeitraum verringert sich auch das potentielle Schadensausmass im Falle eines Kontrollverlustes stark, da sich die bereits eingelagerten Abfälle untertag in einem langfristig besser geschützten Zustand befinden im Vergleich zu den an der Oberfläche zwischengelagerten Abfällen.

Beobachtungsphase

## Betrachtungsphase 2

In der Betrachtungsphase 2 (Beobachtungsphase) ist das ganze Schadenspotential untertag, da nun alle Endlagerbehälter eingelagert sind und sich keine mehr an der Oberfläche befinden. Die Zugänglichkeiten im Tiefenlager variieren innerhalb dieser Phase, deswegen werden folgende Phasen definiert:

### – Betrachtungsphase 2.1

Die Betrachtungsphase 2.1 dauert gem. [9] ca. 10 Jahre. Diese Phase beginnt mit dem Abschluss der Einlagerung aller Abfälle im Tiefenlager und endet mit dem Verschluss des Hauptlagers. Die Zugänglichkeit im Tiefenlager während dieser Phase ist in Abbildung 6 dargestellt.

### – Betrachtungsphase 2.2

Die Zeitspanne zwischen dem Verschluss des Haupt- und Gesamtlagers wird als Betrachtungsphase 2.2 bezeichnet und dauert ca. 35 Jahre gem. [9]. Die effektive Dauer kann jedoch auch wesentlich kürzer oder länger sein und soll in Abhängigkeit der Beobachtungsergebnisse festgelegt werden. Zu diesem Zeitpunkt sind die Rampe sowie die Bau- und Betriebstunnel verfüllt. Die Zugänglichkeit im Tiefenlager während dieser Phase ist in Abbildung 7 dargestellt.

Mit dem Verschluss des Gesamtlagers ist der Endzustand des Lagers erreicht. Ab diesem Zeitpunkt wird keine Kontrolle über das Lager mehr angestrebt und der sichere Einschluss der Radionuklide wird ausschliesslich über passive Barrieren sichergestellt.

Während der Beobachtungsphase sind die Abfälle wesentlich besser geschützt, als dies aktuell der Fall ist und somit wären auch die Konsequenzen eines Kontrollverlustes zu diesem Zeitpunkt deutlich geringer, als wenn ein solcher Kontrollverlust in den nächsten 40 Jahren eintreten würde. Somit könnte der Betrachtungshorizont der vorliegenden Studie auf die ca. 15 Jahre des Einlagerungsbetriebs beschränkt werden.

Andererseits lässt sich argumentieren, dass auch bei einem deutlich reduzierten Risiko weitere Optimierungen des Schutzniveaus angestrebt werden sollten, wenn die dafür notwendigen Massnahmen verhältnismässig sind. Die Autoren dieser Studie sehen hierbei gerade für den Zeitraum der Beobachtungsphase noch die Möglichkeit, das Tiefenlager besser vor einem Kontrollverlust zu schützen, als dies mit den aktuell vorgesehenen Phasen der Fall ist. Die Diskussion im Spannungsfeld zwischen dem während der Beobachtungsphase angestrebten Erkenntnisgewinn und dem in dieser Zeit dafür eingegangenen Risiko für einen Kontrollverlust und damit eines nicht optimal verschlossenen Lagers ist noch zu führen. Die vorliegende Studie kann hierfür eine Anregung sein. Aus diesem Grund wird die Betrachtungsphase 2 (Beobachtungsphase) in dieser Studie mit berücksichtigt.

## 3.3 Thematische Abgrenzung

Kontrollverlust durch Störfall nicht betrachtet

Die Studie fokussiert auf mögliche Kontrollverluste ausgelöst durch Krisensituationen. Kurzfristige Kontrollverluste ausgelöst durch Störfälle (z.B. einen Brand im Tiefenlager oder einen Wassereintrich im Bereich der Zugangsbauwerke) können zwar ebenfalls eintreten, sind aber im Zuge der Störfallanalysen zu adressieren. Entsprechende

Vorkehrungen sind Teil des Betriebskonzepts des Betreibers und werden in der vorliegenden Studie nicht behandelt.

Kontrollverlust über das Tiefenlager

Das in Kapitel 3. auf Seite 10 formulierte Verständnis eines Kontrollverlustes impliziert, dass keine Krisensituation vorliegt, solange eine Gesellschaft in der Lage ist zu entscheiden, wie sie mit dem geologischen Tiefenlager und den darin gelagerten Abfällen umgehen möchte und fähig ist dementsprechend zu handeln. Dies beinhaltet jedoch auch, dass ein gewolltes böswilliges Zugreifen auf das Lagergut oder terroristische Aktivitäten nicht Teil des Betrachtungsfokus dieser Studie sein können. Solange die staatliche Ordnung funktioniert, ist die Sicherung des Lagers zum Beispiel gegen terroristische Aktivitäten neben der Pflicht des Betreibers auch eine hoheitliche Aufgabe des Staates, wofür Polizei und Armee zuständig sind. Sollte das Gewaltmonopol des Staates zur Sicherung des Tiefenlagers nicht mehr ausreichen und eine andere Organisation die Kontrolle über das Lager ausüben, dann ist nicht von einer Krisensituation zu sprechen, sondern von der Ablösung unserer staatlichen Ordnung durch eine neue Form der gesellschaftlichen Organisation. Dieser neuen Gesellschaftsform steht jedoch auch das Recht zu, ihre eigenen Entscheide zu fällen, auch wenn diese unseren jetzigen Vorstellungen widersprechen sollten.

Fokus

Die vorliegende Studie fokussiert daher auf Situationen, in welchen keine aktive Kontrolle mehr über das Lager ausgeübt wird. Der Fokus der vorgeschlagenen Massnahmen und Anforderungen liegt dabei auf dem auch langfristig sicheren Einschluss der Radionuklide im Tiefenlager.

#### **4. Szenarienanalyse und Massnahmenempfehlungen**

Vorgehensweise

Die Hauptergebnisse der gegenständlichen Studie basieren auf einer Analyse in fünf Schritten. Ausgehend von einer Szenarienanalyse als erstem Schritt wird ein möglicher Kontrollverlust über das Tiefenlager beschrieben. Relevant für die vorliegende Studie ist dabei nicht das Szenario an sich, welches zu einem Kontrollverlust über das Tiefenlager führen könnte, sondern die Art und Weise, wie dieser Kontrollverlust eintreten wird. Eine entsprechende Charakterisierung wird im zweiten Schritt vorgenommen. Im dritten Schritt werden die Auswirkungen auf das Tiefenlager analysiert in Abhängigkeit der Phase, in welcher der Kontrollverlust eintritt. Im vierten Schritt werden mögliche Massnahmen diskutiert, um die identifizierten Auswirkungen möglichst gering zu halten, bevor im fünften Schritt Empfehlungen und Anforderungen für die weitere Planung, die Auslegung und den Betrieb des Tiefenlagers formuliert werden. Die Analyse in fünf Schritten ist in Abbildung 10 schematisch dargestellt.

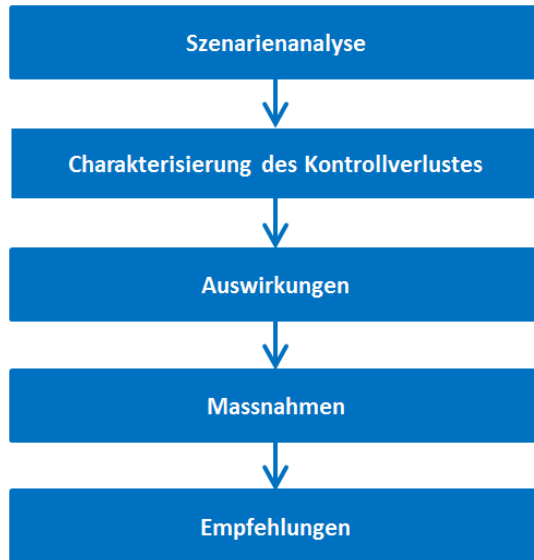


Abbildung 10: schematische Darstellung der Vorgehensweise

Auf jeden der obengenannten Schritte wird in der Folge in einem separaten Unterkapitel eingegangen.

**4.1 Szenarienanalyse**

Gefährdung der staatlichen und gesellschaftlichen Ordnung

Im Fokus der Studie stehen Szenarien und Zeiten, in welchen die staatliche und / oder die gesellschaftliche Ordnung gefährdet ist. Mögliche Szenarien als Ursachen respektive Auslöser eines Kontrollverlustes sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Auflistung hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit und kann per se nicht abschliessend sein, da sich die künftige Entwicklung der Gesellschaft und damit auch von möglichen Ursachen oder Auslösern von Krisensituationen über die nächsten 100 oder 150 Jahre nicht voraussagen lässt.

Tabelle 1: Krisenszenarien, welche zu einem Kontrollverlust über das Lager führen könnten

Krisenszenario	Kurzbeschreibung
Krieg	Infolge kriegerischer Handlungen zwischen verschiedenen Staaten in Europa müssen die Arbeiten am Tiefenlager eingestellt werden. Wie die Landkarte in Europa nach dem Krieg aussieht ist ungewiss.
Bürgerkrieg	In der Schweiz herrscht Bürgerkrieg. Verschiedene Gruppen kämpfen mit militärischen Mitteln gegen den Staat.
Pandemie	Von einer weltweiten Pandemie ist auch die Schweiz betroffen mit massiven gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen. Nach dem Abflauen der Pandemie ist die Gesellschaft nicht mehr in der Lage, sich wie vorgesehen um das geologische Tiefenlager zu kümmern.
Naturkatastrophe	Eine Naturkatastrophe, wie zum Beispiel ein grosser Meteoriteneinschlag, richtet schwere Verwüstungen an und beeinflusst das weltweite Klima. In der Folge kommt es weltweit zu gesellschaftlichen Umbrüchen.
Verlust der Entscheidungsfähigkeit der Regierung / Gesellschaft	Die Regierung / Gesellschaft hat sich radikalisiert, was zu Blockaden und Stillstand führt. Die notwendigen Entscheide werden nicht mehr getroffen und die entsprechende Führung fehlt.

Mächtige Grosskonzerne lösen Staatswesen ab	Mächtige Grosskonzerne bestimmen das Leben. Sie stehen über den staatlichen Organisationen und verfolgen ihre eigenen Interessen. Sie bestimmen über die Verwendung der finanziellen Mittel und weisen der Entsorgung der radioaktiven Abfälle keine Bedeutung zu.
Wirtschaftliche Schwäche / finanzielle Krise	Infolge einer langandauernden wirtschaftlichen Krise sind finanzielle Mittel in der Schweiz sehr knapp. Das Geld des Entsorgungsfonds wurde zweckentfremdet und somit fehlen die Ressourcen, um das Tiefenlager zu betreiben.
Wissensverlust	Die radioaktiven Abfälle wurden schon vor Jahren ins Tiefenlager verbracht. Über die langen Projektzeiträume ging das Wissen beim Staat verloren, dass das Lager am Ende verschlossen werden sollte. Der Betreiber führt aus Eigeninteresse die Beobachtungsphase ohne angestrebten Lagerverschluss weiter, da er nach einem Verschluss des Lagers seine Existenzberechtigung verliert (Selbsterhaltungstrieb der Organisation).
Know-how Verlust	Die Schweiz hat es nicht geschafft, das Know-how zum fachgerechten Umgang mit radioaktiven Abfällen und deren sachgerechter Entsorgung in einem Tiefenlager über die Jahrzehnte zu erhalten. Obwohl der Wille für eine korrekte Entsorgung vorhanden wäre, fehlen die Fachleute mit dem notwendigen Know-how.
IT-Krieg	Ein grossangelegter IT-Krieg beeinträchtigt das staatliche und wirtschaftliche Funktionieren der Schweiz langfristig massiv. Die Schweiz ist nicht mehr in der Lage, sich um mehr als nur um die dringendsten Aufgaben zu kümmern.
Kontrolle der Gesellschaft durch künstliche Intelligenz	Die künstliche Intelligenz hat sich massiv entwickelt und ist dem Menschen überlegen. Entscheide werden von Computern gefällt und durchgesetzt. Die Entsorgung der radioaktiven Abfälle hat für die Computer keine Priorität.

Untergeordneter Bedeutung der Szenarien

Die effektiven Szenarien, welche zu einem Kontrollverlust über das Tiefenlager führen können, sind aus Sicht der Autoren von untergeordneter Bedeutung. Relevant ist, dass es zu einem entsprechenden Kontrollverlust kommen kann. Die Geschichte zeigt und dies wurde auch in [6] dargelegt, dass es auch in hochentwickelten Gesellschaften immer wieder zu Umbrüchen gekommen ist. Wie stark sich auch ohne Umbruch eine Gesellschaft verändern kann wird deutlich, wenn man sich den langen Projekthorizont von möglicherweise 100 oder 150 Jahren vor Augen hält. Niemand hätte im Jahr 1870 nur schon annähernd beschreiben können, wie unser heutiges Leben aussieht. Wir sind heute genauso wenig in der Lage zu beschreiben, was die gesellschaftlichen Herausforderungen in 150 Jahren sein werden.

#### 4.2 Charakterisierung des Kontrollverlustes

Allgemein

Unabhängig von den Szenarien lässt sich die Art und Weise des Kontrollverlustes für alle Ursachen und Auslöser einheitlich charakterisieren. Damit kann die Komplexität und Vielfalt der Szenarien und dem damit verbundenen Unwissen bezüglich der künftigen Herausforderungen in eine Form gebracht werden, welche für eine Analyse der Auswirkungen auf das Lager verwertbar wird.

Die Art und Weise des Kontrollverlustes wird für diese Studie auf zwei Arten charakterisiert; über die Geschwindigkeit des Eintretens und seine Dauer.

Geschwindigkeit des Eintretens	<p>Bezogen auf die Geschwindigkeit werden folgende Arten unterschieden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>sofort eintretender Kontrollverlust:</b> Massnahmen sind nicht mehr umsetzbar (keine Zeit zu reagieren).</li> <li>– <b>schnell eintretender Kontrollverlust:</b> Sofortmassnahmen sind noch umsetzbar (innert einigen Wochen).</li> <li>– <b>sich abzeichnender Kontrollverlust:</b> geplante Massnahmen sind umsetzbar (innert Monaten oder wenigen Jahren).</li> </ul>
Dauer des Kontrollverlustes	<p>Über die Dauer wird ein Kontrollverlust wie folgt definiert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>temporärer Kontrollverlust:</b> die Kontrolle über das Tiefenlager kann spätestens in ca. einem Jahrzehnt wiederhergestellt werden und das Projekt kann im ursprünglichen Sinne weitergeführt werden.</li> <li>– <b>permanenter Kontrollverlust:</b> der Verlust der Kontrolle über das Tiefenlager ist dauerhaft und die Fortführung des Projektes ist nicht mehr realisierbar.</li> </ul> <p>Die Auswirkungen eines Kontrollverlustes auf das Lager sowie mögliche Massnahmen zur Minderung der negativen Auswirkungen werden in den folgenden Kapiteln anhand der oben genannten Charakteristiken des Kontrollverlustes erläutert.</p>
Einfluss der Geschwindigkeit des Eintretens gering	<p><b>4.3 Auswirkungen auf das Lager</b></p> <p>Die Auswirkungen eines Kontrollverlustes auf das Tiefenlager wird nachfolgend anhand der Dauer des Kontrollverlustes (temporär / permanent) betrachtet. Der Einfluss der Geschwindigkeit des Eintretens des Kontrollverlustes auf die Auswirkungen auf das Tiefenlager ist global gesehen gering. Für einzelne Endlagerbehälter kann es jedoch von Bedeutung sein.</p>
Einfluss der Betrachtungsphase	<p>Einen grossen Einfluss auf die Auswirkungen hat die Betrachtungsphase, in welcher ein Kontrollverlust eintreten würde. In der Tabelle 2 sind die Hauptauswirkungen aufgeführt, differenziert nach Betrachtungsphase und Dauer des Kontrollverlustes.</p>
Betrachtungsphase 1	<p>Die Konsequenzen eines Kontrollverlustes über das Tiefenlager sind in der Betrachtungsphase 1 (Einlagerungsbetrieb) am grössten, da hier einzelnen Behälter im Tiefenlager exponiert sowie grössere Bauwerksbereiche beschädigt und damit die Sicherheitsbarrieren im Bereich der Lagerstollen beeinträchtigt werden können. Während der Einlagerung kann beispielsweise ein Lagerstollen, in welchem die Einlagerung erfolgt, nicht verfüllt sein. Deswegen können hier grosse Konvergenzen (Deformationen) des Tunnelausbaus auftreten, die bis zum Verbruch (Einsturz) dieses Stollens führen können.</p>
Betrachtungsphase 2.1	<p>In der Betrachtungsphase 2.1 sind alle Lagerstollen verfüllt und versiegelt. Daher können grosse Verformungen, die bis zu einem Kollaps des Tunnelausbaus führen können, im Hauptlager nur beim Betriebstunnel auftreten. Die Sicherheitsbarriere wird in diesem Fall nur beschädigt, wenn der mögliche Verbruch des Betriebstunnels einen Einfluss bis hin zum langfristigen Wirkungsbereich eines Endlagerbehälters im Lagerstollen hat. Relevant wird dabei der Abstand zwischen dem letzten Endlagerbehälter und dem Betriebstunnel sein und damit die Länge des Versiegelungsbauwerks am Ende des Lagerstollens (siehe hierzu Abbildung 11).</p>

Tabelle 2: Auswirkungen eines Kontrollverlustes auf das Tiefenlager pro Betrachtungsphase

Kontrollverlust	Betrachtungsphase 1	Betrachtungsphase 2.1	Betrachtungsphase 2.2
temporärer / permanenter	Zugang zu eventuell nicht versiegelten Lagerstollen (Endlagerbehälter)	Zugang zur Lagerebene (jedoch nicht zu Lagerstollen)	Zugang nur zu Testbereich und Kontrollstollen auf Lagerebene
temporärer	Mögliche lokale Beschädigung der Sicherheitsbarriere (infolge Verbruch / grosser Konvergenzen Lagerstollen und Betriebstunnel)  Mögliche Flutung des Lagers infolge Wasserzutritt bis in nicht versiegelte Lagerstollen  Mögliche Zerstörung des untertägigen Monitorings  Reparaturmassnahmen können notwendig sein, um das Tiefenlager nach Ende des Kontrollverlustes weiter betreiben zu können	Mögliche lokale Beschädigung der Sicherheitsbarriere (infolge Verbruch / grosser Konvergenzen Betriebstunnel)  Mögliche Flutung der Betriebstunnel infolge Wasserzutritt bis zu den Versiegelungen der Lagerstollen  Mögliche Zerstörung des untertägigen Monitorings  Reparaturmassnahmen können notwendig sein, um das Haupt- und Gesamtlager nach Ende des Kontrollverlustes verschliessen zu können	Keine Beschädigung der Sicherheitsbarriere im Hauptlager, allenfalls im Bereich des Pilotlagers (infolge Verbruch / grosser Konvergenzen Kontrollstollen)  Mögliche Flutung infolge Wasserzutritt nur bis zu Kontrollstollen und Testbereich  Mögliche Zerstörung des untertägigen Monitorings  Reparaturmassnahmen können notwendig sein, um das Gesamtlager nach Ende des Kontrollverlustes verschliessen zu können
permanenter	Lokale Beschädigung der Sicherheitsbarriere (infolge Verbruch / grosser Konvergenzen Lagerstollen und Betriebstunnel)  Flutung des Lagers infolge Wasserzutritt bis in nicht versiegelte Lagerstollen  Versiegelung der Lagerstollen und Verschluss des Tiefenlager (Haupt- und Gesamtlager) erfolgt nicht	Lokale Beschädigung der Sicherheitsbarriere (infolge Verbruch / grosser Konvergenzen Betriebstunnel)  Flutung der Betriebstunnel infolge Wasserzutritt bis zu den Versiegelungen der Lagerstollen  Verschluss des Tiefenlagers (Haupt- und Gesamtlager) erfolgt nicht	Keine Beschädigung der Sicherheitsbarriere im Hauptlager, allenfalls im Bereich des Pilotlagers (infolge Verbruch / grosser Konvergenzen Kontrollstollen)  Flutung infolge Wasserzutritt nur bis Kontrollstollen und Testbereich  Verschluss des Gesamtlagers erfolgt nicht

Betrachtungsphase 2.2

In Betrachtungsphase 2.2 kann kein Verbruch eines Bauwerkes im Hauptlager mehr auftreten, da diese alle vollständig verfüllt sind. Somit hat in dieser Phase ein Bauwerkskollaps auch keinen relevanten Einfluss mehr auf die Langzeitsicherheit des Hauptlagers.

temporärer Kontrollverlust

Bei einem temporären Kontrollverlust wird davon ausgegangen, dass die Kontrolle über das Tiefenlager wieder erreicht werden kann. Wenn zum Zeitpunkt des Kontrollverlustes noch nicht alle Endlagerbehälter eingelagert sind (Betrachtungsphase 1), sollten mit allenfalls verhältnismässigen Instandsetzungsmassnahmen und Reparaturen die Zugangsbauwerke und die Betriebstunnel noch funktionstüchtig sein.



Auch in den Betrachtungsphasen 2.1 und 2.2 sollten die Verfüll- und Verschlussarbeiten noch ausgeführt werden können.

permanenter Kontrollverlust

Bei einem permanenten Kontrollverlust ist mit zwei Hauptauswirkungen zu rechnen. Einerseits wird der Ausbau noch offener, nicht versiegelter Bauwerksbereiche mit der Zeit stark beschädigt. Die Bauwerke werden daher mit der Zeit infolge abnehmender Tragfähigkeit des Ausbaus kollabieren. Dadurch wird auch das umgebende Gebirge durch weitreichendere Auflockerungszonen einen Teil seiner Barrierenwirkung lokal verlieren. Zudem werden die noch offenen Teile des Tiefenlagers mit der Zeit geflutet. Dies kann langsam durch das nicht mehr nach übertag geförderte Bergwasser aus den Zugangsbauwerken erfolgen oder auch schneller durch ein Versagen des Ausbaus infolge zeitlich bedingter abnehmender Tragfähigkeit im Bereich der Zugangsbauwerke. Eine Flutung kann in Betrachtungsphase 1 bis in noch offene Lagerstollen reichen. In Betrachtungsphase 2 kann das Wasser nur bis zu den Versiegelungen der Lagerstollen (Phase 2.1) respektive zu den Testbereichen und dem Kontrollstollen (Phase 2.2) vordringen.

#### 4.4 Massnahmen

Gruppierung der Massnahmen

In den folgenden Abschnitten werden Massnahmen empfohlen, welche aus Sicht der Autoren die Konsequenzen eines Kontrollverlustes über das Lager minimieren können. Die einzelnen Massnahmen werden dabei folgendermassen gruppiert:

- *Auslegungsbeeinflussende Massnahmen*: Massnahmen, welche einen Einfluss auf die Auslegung des Lagers und damit auf den Bau des Lagers haben können. Diese Massnahmen sind unabhängig von der Geschwindigkeit des eintretenden Kontrollverlustes wirksam.
- *Vorbereitete Massnahmen und Entscheide*: Dies sind vorsorglich geplante Massnahmen, welche im Fall eines sich abzeichnenden Kontrollverlustes ergriffen oder vorgefasste Entscheide, welche dann umgesetzt werden. Diese Massnahmen können die Situation bei einem schnell eintretenden oder sich abzeichnenden Kontrollverlust verbessern. Dabei wird nicht zwischen Massnahmen für einen temporären oder permanenten Kontrollverlust unterschieden, da beim Ergreifen der Massnahme davon ausgegangen werden muss, dass die Kontrolle über das Tiefenlager nicht wiedererlangt werden kann, es sich also um einen permanenten Kontrollverlust handelt.
- *Übergeordnete Massnahmen und Überlegungen*: (in separatem Kapitel) Massnahmen und Überlegungen, welche den gesamten Lebenszyklus des Lagers betreffen und einen Einfluss auf gesetzliche Rahmenbedingungen für den Bau und Betrieb des Tiefenlagers haben können.

Gesamtbetrachtung notwendig

Das Projekt der geologischen Tiefenlagerung ist sehr komplex und ist mit zahlreichen, sich teilweise widersprechenden Anforderungen konfrontiert. Bei allen vorgeschlagenen Massnahmen ist daher darauf hinzuweisen, dass diese gemäss Einschätzung der Autoren zwar vorteilhaft für die Minimierung der Auswirkungen auf das Lager bei einem Kontrollverlust sind, jedoch Konsequenzen auf andere Bereiche haben können. Ob die vorgeschlagenen Massnahmen zweckmässig im Sinne einer Verbesserung der Langzeitsicherheit des Tiefenlagers sind, ist daher im Rahmen einer

Gesamtbetrachtung zu beurteilen, welche den Rahmen dieser Studie übersteigt. Eine solche Gesamtbeurteilung hat durch die Nagra zu erfolgen.

#### 4.4.1 Auslegungsbeeinflussende Massnahmen

##### Zwischenversiegelung der Lagerstollen

Im Lagerstollen besteht die Möglichkeit, Zwischensiegel zu installieren, um die Lagerstollen in einzelne Kompartimente zu unterteilen. Die Anzahl der exponierten Endlagerbehälter, insbesondere bei einem sofort eintretenden Kontrollverlust, reduziert sich durch diese Zwischenversiegelung. Diese von der Nagra geplante Variante sollte auch im Hinblick auf ihren Nutzen bei einem Kontrollverlust über das Tiefenlager in der Einlagerungsphase beurteilt werden.

##### Separate Erschliessung von Hauptlager gegenüber Pilotlager und Testbereichen

Aus der Perspektive der Langzeitsicherheit ist es anzustreben, dass das Hauptlager möglichst bald in seinen Endzustand gebracht und damit bis zur Oberkante des Wirtgesteins verschlossen wird. Eine Beeinträchtigung der Sicherheitsbarrieren oder eine Flutung des Lagers kann damit auch bei einem permanenten Kontrollverlust ausgeschlossen werden. Voraussetzung hierzu ist, dass das Hauptlager ab der Multifunktionsstelle (MFS) separat vom Pilotlager und seinem Kontrollstollen sowie den Testbereichen erschlossen wird. Entsprechende Konzepte der Lagerauslegung sind nach Ansicht der Autoren zu prüfen.

##### Mindestabstand der Lagerstollen voneinander

Der Kollaps eines offenen Lagerstollens aufgrund grosser Konvergenzen sollte keinen negativen Einfluss auf die geologische Barriere eines benachbarten, bereits verfüllten Lagerstollens haben und die Langzeitsicherheit der darin eingelagerten Endlagerbehälter nicht beeinträchtigen. Der horizontale Abstand der Lagerstollen untereinander ist auch auf Basis dieser Anforderung festzulegen.

##### Mindestabstand zwischen Endlagerbehälter und Betriebstunnel

Der Kollaps des Abzweigers oder des Betriebstunnels aufgrund grosser Konvergenzen des Ausbaus infolge dessen nachlassender Tragfähigkeit sollte keinen negativen Einfluss auf die geologische Barriere der Lagerstollen haben und die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen. Der Mindestabstand des letzten Behälters vom nicht verfüllten Abzweiger (Abbildung 11) ist auch auf Basis dieser Anforderung festzulegen.

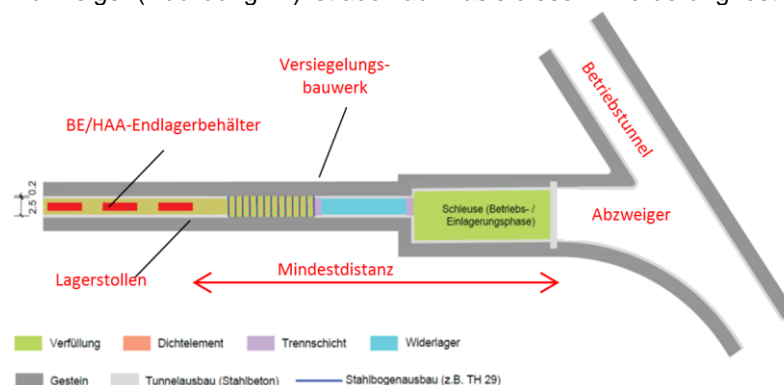


Abbildung 11: Versiegelungsbauwerk am Ende der Lagerstollen [9]

### **Multifunktionsstelle als Rückhaltebecken ausbilden**

Eine Hauptgefährdung für das Lager stellt ein Wasserzutritt in grösseren Mengen dar. Insbesondere bei einem länger andauernden Stromunterbruch können dann die anfallenden grossen Bergwassermengen nicht mehr gefördert werden, so dass sie sich untertag ansammeln. Dies wird auch bei einem temporären Kontrollverlust über das Lager passieren. Für diesen Fall und auch für weitere Störfälle wäre es hilfreich, wenn untertag ein möglichst grosses Retensionsvolumen zur Verfügung steht, bevor sich das Wasser auf der Lagerebene des Hauptlagers ausbreiten kann. Eine Ausbildung der MFS als Rückhaltebecken zum Beispiel durch eine Weiterführung der Zugangsbauwerke in die Tiefe über eine Gegensteigung über OK der MFS könnte ein solches Volumen bereitstellen. Bei einer separaten Erschliessung des Hauptlagers vom Pilotlager mit seinem Kontrollstollen könnte durch einen zusätzlichen Niveauunterschied der Zugänge bis auf die Lagerebene das Rückhaltevolumen zum Schutz des Hauptlagers durch Ausnutzung des Kontrollstollens und seiner benachbarten Bauwerke noch deutlich vergrössert werden.

### **Längere Nutzungsdauer für Lagerstollen**

Um das Projekt nach einem temporären Kontrollverlust im ursprünglichen Sinne weiterzuführen und die Auswirkungen zu begrenzen, könnte die Anforderung an die Nutzungsdauer des Lagerstollens erhöht werden. Aktuell ist eine Nutzungsdauer von 4 Jahren geplant. Durch eine geotechnische Untersuchung könnte abgeschätzt werden, wie stark die nicht verfüllten Lagerstollen mit der Zeit konvergieren und nach welchem Zeitraum sie kollabieren. Mit einem geringen Mehraufwand könnte der Ausbau der Lagerstollen so ausgelegt werden, dass er auch über einen Zeitraum von mehr als einem Jahrzehnt standsicher ist und damit die Schädigung der geologischen Barriere auch bei einem temporären Kontrollverlust minimiert werden könnte.

## **4.4.2 Vorbereitete Massnahmen und Entscheide**

### **Schnelle Verfüllung und Versiegelung der offenen Lagerstollen**

Insbesondere bei einem sich abzeichnenden Kontrollverlust kann die Beschädigung des Wirtgesteins durch eine schneller als geplante Verfüllung und Versiegelung der offenen Lagerstollen reduziert werden. Durch die Verfüllung der Lagerstollen werden die Konvergenzen des Ausbaus beschränkt und damit die Auswirkungen auf die geologische Barriere reduziert. Zusätzlich wird ein Wasserzutritt zu den Endlagerbehältern durch die Versiegelung verhindert. Um eine rasche Verfüllung und Versiegelung der offenen Stollen sicherzustellen, ist das hierfür notwendige Baumaterial vor Ort jederzeit verfügbar vorzuhalten.

### **Schneller Lagerverschluss während Beobachtungsphase**

In der Beobachtungsphase sind Teile des Tiefenlagers noch offen. Während dieser Zeit werden Daten zur Bestätigung des Systemverhaltens gesammelt und die einfache Rückholbarkeit der Abfälle sichergestellt. Wenn die Wahrscheinlichkeit zunimmt, dass ein Kontrollverlust über das Lager eintreten könnte, sollte die Beobachtungsphase beendet und das Haupt- respektive das Gesamtlager verschlossen werden.

### Voraussetzungen für schnellen Verschluss schaffen

Um genügend Zeit für einen schnellen Verschluss des Lagers zu haben, sind entsprechende Vorkehrungen zu treffen. Einerseits sollten Kriterien definiert werden, bei deren Eintreten das Lager zu verschliessen ist (differenziert nach Hauptlager und Gesamtlager). Beispielhaft werden nachfolgend mögliche Kriterien angesprochen:

- \_ Finanzielles Kriterium: Festlegen eines Finanzstandes im Entsorgungsfond, welcher die sichere Umsetzung der Verschlussmassnahmen noch ermöglicht. Sinken die Geldmittel unter diesen Stand, ist das Gesamtlager zu verschliessen.
- \_ Sicherheitspolitische Lage: Die Gefahr für kriegerische Ereignisse im Umfeld der Schweiz ist erhöht.
- \_ Mangel an Fachspezialisten: Relevante Ausbildungslehrgänge für Fachspezialisten oder Forschungsprogramme in der Schweiz werden eingestellt. Damit kann nicht sichergestellt werden, dass kompetente Fachleute weiter zur Verfügung stehen. Der Verschluss ist umzusetzen, solange noch das nötige Fachwissen vorhanden ist.
- \_ Baulicher Zustand der offenen Lagerteile: Der Beschaffenheit der Bauwerke erreicht ein Niveau, bei welchem das Risiko für Störfälle zunimmt (z.B. Konvergenzen in untertägigem Bauwerk erreichen einen vordefinierten Grenzwert, Wasserzutritt nimmt zu und überschreitet einen definierten Level)

Vorgefasste Beschlüsse

Andererseits sollten vorgefasste Beschlüsse verabschiedet werden, um auch in sich anbahnenden Krisensituationen möglichst lange handlungsfähig zu bleiben. Der obengenannte Kriterienkatalog sollte beispielsweise durch den Bundesrat verabschiedet und die Entscheide gefällt werden, was bei Eintreten der einzelnen Kriterien zu tun ist. Analog des Ereignismanagements von Krisenstäben stellt die Vordefinition von Entscheidungsketten und das Fällen der notwendigen Entscheide in regulären Zeiten sicher, dass nicht in einer sich abzeichnenden Krisensituation wertvolle Zeit durch das Abwarten von Entscheiden verloren geht. Ausserdem kann damit das Risiko reduziert werden, dass Entscheide nicht getroffen werden aus politischem Kalkül oder durch Verlust der Entscheidungsfähigkeit der Regierung.

### 4.5 Übergeordnete Massnahmen und Überlegungen

#### Direkter Verschluss des Hauptlagers bis OK Wirtgestein nach Einlagerung

Nach Ende der Einlagerungsphase ist seitens des Projektverfassers vorgesehen, dass ca. 10 Jahre der Beobachtungsphase abgewartet werden sollen, bis das Hauptlager verschlossen wird (siehe Abbildung 9). Während dieser Zeit wird viel bautechnische Erfahrung und Routine verloren gehen, da in diesem Zeitraum die erfahrensten Mitarbeiter pensioniert werden, Mitarbeiter die Stelle wechseln, bewährte Maschinen ihr Lebensende erreicht haben oder Lieferketten abreißen. Ein direkter Verschluss des Hauptlagers bis Oberkante des Wirtgesteins nach Ende der Einlagerungsphase erscheint den Autoren dieser Studie deshalb als erstrebenswert. Auf diese Weise kann nicht nur mit einer eingespielten und erfahrenen Mannschaft eine hohe Arbeitsqualität erreicht werden, sondern auch das Risiko von negativen Auswirkungen eines potentiellen Kontrollverlustes während dieser Zeit deutlich reduziert werden. Sollte sich nach Verschluss des Hauptlagers der Bedarf für die Zugänglichkeit zu den Lagerstollen beispielsweise für eine teilweise oder vollständige Rückholung der Abfälle ergeben, so kommt auch die EKRA zum Schluss, dass "die Rückholung... durch eine eingebrachte Verfüllung technisch nicht entscheidend erschwert" wird [2].

**Abwägung von Chancen und Risiken der Beobachtungsphase**

Während der Beobachtungsphase ist die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen einer Krisensituation, welche zum Kontrollverlust über das Lager führen könnte, am grössten. Dies wird einerseits durch die mögliche lange Beobachtungsphase verursacht – sie könnte mehrere Jahrzehnte bis über 100 Jahre dauern. Andererseits nimmt die Genauigkeit von Vorhersagen zum Beispiel zu gesellschaftlichen Entwicklungen laufend ab, je weiter sie sich auf die Zukunft beziehen und damit nimmt auch die Unsicherheit zu, wie denn das Umfeld aussehen wird, in welchem das geplante Vorhaben verwirklicht werden soll.

Schädigung der Umwelt möglich

Eine separate Beobachtungsphase könnte dazu führen, dass das Gesamtlager nicht wie vorgesehen verschlossen werden kann. Neben dem mangelnden Verschluss des Lagers besteht auch die Gefahr, dass durch die ausgebliebene Verfüllung des Zugangsschachts die Umwelt nachhaltig beeinflusst oder gar geschädigt wird. Dies könnte beispielsweise bei einem Versagen des Schachtausbaus passieren, wodurch die bis anhin getrennten Grundwasserstockwerke verbunden würden. Neben der möglichen Beeinträchtigung der Langzeitsicherheit ist eine ungewollte Beeinträchtigung der Umwelt sogar sehr wahrscheinlich. Diesem Risiko steht auf der anderen Seite ein erhoffter Erkenntnisgewinn zur Verifikation der für den Sicherheitsnachweis verwendeten Modellannahmen gegenüber.

Verzicht auf Beobachtungsphase prüfen

Die Autoren dieser Studie empfehlen, eine sorgfältige Abwägung aller Chancen und Risiken der geplanten Beobachtungsphase vorzunehmen unter Berücksichtigung der Risiken eines möglichen Kontrollverlustes über das Lager während dieser Phase. Sollten über einen Beobachtungszeitraum von bis über 100 Jahren hinweg die Modellannahmen für den Nachweis der Langzeitsicherheit nicht zuverlässig bestätigt respektive ungewollte Entwicklungen im Tiefenlager zuverlässig erkannt werden können, sollte nach Ansicht der Autoren auf die Beobachtungsphase verzichtet werden. Im Sinne einer robusten Sicherheitsmassnahme für unsichere Zeiten sollte das Tiefenlager möglichst bald nach Abschluss der Einlagerung verschlossen werden.

**Kriterium der Rückholung ohne grossen Aufwand hat untergeordnete Bedeutung**

Das Kriterium der Rückholung ohne grossen Aufwand der Abfälle hat aus Sicht der Autoren seine Berechtigung für die Einlagerungsphase (z.B. Rückholung eines Behälters mit erkannten Qualitätsproblemen ohne Beeinträchtigung des restlichen Lagers). Während der Beobachtungsphase sollte dieses Kriterium jedoch nicht dafür verwendet werden, um die Offenhaltung von Bauwerksteilen über die für den regulären Betrieb hinausgehende Zeitspanne zu begründen. Die Offenhaltung würde zwar Zeit und Kosten sparen im Falle einer Teilrückholung oder einer vollständigen Rückholung der Abfälle. In Anbetracht der bei einem solchen Schritt anfallenden Gesamtkosten und den involvierten Zeiträumen sind diese Einsparungen jedoch von untergeordneter Bedeutung. Ausserdem stehen sie nicht in einem sinnvollen Verhältnis zu den dafür eingegangenen Risiken ausgehend von einem möglichen Kontrollverlust oder der möglichen Beeinträchtigung der Langzeitsicherheit durch denkbare Störfälle.

Nur für Betrieb notwendige Bauwerke offen halten

Um die angesprochenen Risiken zu minimieren, sollten nur die untätigen Bauwerke offengehalten werden, welche unmittelbar notwendig für die auszuübenden Tätigkeiten

sind. Es bleibt hier festzuhalten, dass auch bei verschlossenen Zugangsbauwerken die Abfälle rückholbar bleiben durch die erneute Öffnung der verschlossenen Bauwerke oder durch die Erstellung von neuen Zugängen.

### Suche nach zeitlichem Optimierungspotential

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Erstellung und den Betrieb des geologischen Tiefenlagers wurden unter der Prämisse einer stabilen Gesellschaft formuliert. Unter dieser Voraussetzung führen mehr Zeit und mehr Untersuchungen zu einem besseren Verständnis der ganzheitlichen Problemstellung und zu einem besseren Projekt für das Tiefenlager und damit zu einer optimierten Langzeitsicherheit für die eingelagerten Abfälle. Unter der Prämisse, dass es in der Geschichte immer wieder gesellschaftliche Brüche gegeben hat und auch in Zukunft geben wird, ist dies jedoch nicht mehr so eindeutig. Vielmehr steigt mit einer längeren Dauer des Entsorgungsvorhabens die Wahrscheinlichkeit, dass die Kontrolle über die Abfälle verloren geht. Daher stellen sich folgende Fragen:

- \_ Wie würde das Vorgehen zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle sinnvollerweise aussehen wenn es darum ginge, die Abfälle möglichst rasch in einen möglichst sicheren Zustand zu bringen?
- \_ Was kann aus der Antwort der ersten Frage für die Umsetzung des aktuellen Projektes gelernt werden?

Potential für  
Prozessbeschleunigung

Die Autoren gehen davon aus, dass durch die Beantwortung obiger Fragen und einer Analyse des zeitlich kritischen Pfades im aktuellen Projektplan durchaus Potential für Beschleunigungsmöglichkeiten erkannt und genutzt werden könnten. Hierbei wäre eine gewisse Flexibilität beim Übergang der einzelnen Phasen sicher hilfreich (z.B. Bau der Rampe parallel zu den EUU).

### Überlegungen zu Kontrollverlust auch für Rückholung der Abfälle relevant

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden bis jetzt Überlegungen angestellt zu den Konsequenzen eines möglichen Kontrollverlustes während der Betriebs- und Beobachtungsphase. Die Überlegungen sollten im Falle einer notwendigen Teilrückholung oder vollständigen Rückholung auch auf diese Phasen ausgedehnt werden.

"schnelle" Rückholung nicht  
realistisch

Zum Zeitpunkt einer möglichen Rückholung der Abfälle während oder nach der Beobachtungsphase würden in der Schweiz seit geraumer Zeit keine Kernanlagen mehr betrieben. Mit den lokalen Gegebenheiten vertraute Fachleute für den Umgang mit radioaktiven Stoffen würde es mit grosser Sicherheit nicht mehr geben und ein sehr grosser Knowhow-Verlust verglichen mit dem heutigen Niveau wäre eingetreten. Eine Anlage an der Erdoberfläche zur Handhabung von radioaktiven Abfällen analog zur Oberflächenanlage des Tiefenlagers oder des ZWILAG würde es nicht mehr geben, sondern müsste erst wieder erstellt werden. Schon aus diesem Grund ist die Rückholung ohne grossen Aufwand im Sinne einer "schnellen" Rückholung nicht realistisch.

Rückholung während  
Beobachtungsphase realistisch?

Bei einer potentiellen Rückholung aus Gründen der Langzeitsicherheit stellen sich schwierig zu beantwortende Fragen wie zum Beispiel: Kann die künftige Gesellschaft in

Anbetracht des Knowhow-Verlust noch sicher mit den Abfällen umgehen? Kann ein neues Entsorgungskonzept entwickelt werden, welches der dann vorherrschenden Situation (Abfälle relativ sicher im Tiefenlager verschlossen) so deutlich überlegen ist, dass es auch die Belastungen und Risiken der erneuten Handhabung der Abfälle zu kompensieren vermag?

Rückholung erst bei ausführungsfähigem Entsorgungskonzept

Bei einer solchen Rückholung wäre ebenfalls der Fall des Kontrollverlustes zu betrachten. In Anbetracht der langen Zeiträume wäre dann ebenfalls mit einem relevanten Risiko zu rechnen, dass über den betrachteten Zeitraum die Kontrolle über die Abfälle verloren gehen könnte. Wenn keine zwingenden Gründe für eine möglichst rasche Rückholung vorhanden wären, sollte zuerst ein neues Entsorgungskonzept bis zur Ausführungsreife gebracht werden, bevor mit der Rückholung begonnen würde.

#### **Betrachtung für Gefahr eines Kontrollverlustes über alle Phasen**

Die vorliegende Studie fokussiert ausschliesslich auf die Gefahr eines Kontrollverlustes über die untertägigen Anlagen eines Tiefenlagers während der Einlagerungs- und Beobachtungsphase. Die möglichen Konsequenzen eines Kontrollverlustes sind in der Zeit davor jedoch am grössten und der Schutz der Abfälle an der Oberfläche zum Beispiel im ZWILAG schwieriger. Im Rahmen einer Gesamtbetrachtung über alle Kernanlagen beginnend von heute bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs (Betrachtungsphasen 0 und 1) könnte dabei das Tiefenlager einen Teil der Lösung zur Reduktion des Gesamtrisikos darstellen. Hierfür wäre es notwendig die Voraussetzungen zu schaffen, dass spätestens bei sich abzeichnenden Unsicherheiten in Phase 0 eine forcierte Bereitstellung des Tiefenlagers inkl. Einlagerung und Verschluss möglich wäre.

#### **4.6 Empfehlungen**

Empfehlungen für weitere Planung

Die Autoren empfehlen, dass der Projektant die in den Kapiteln 4.4.1 und 4.4.2 aufgeführten Massnahmen evaluiert und diejenigen in der weiteren Planung berücksichtigt, welche im Rahmen einer Gesamtevaluation aller Anforderungen an das Tiefenlager einen Anteil zur Optimierung der Langzeitsicherheit beizutragen vermögen.

Anregung für Diskussionen

Die unter Kapitel 4.5 angesprochenen Punkte verstehen die Autoren dieser Studie als Anregung für Diskussionen. Speziell die Diskussion zur Abwägung von Chancen und Risiken der Beobachtungsphase sollte dabei breit und ergebnisoffen geführt werden.

### **5. Fazit**

Fokus wie Klubertanz [6] auf Massnahmen bei Planung, Auslegung und Betrieb

Die vorliegende Studie führt die Gedanken der Vorgängerstudie [6] fort und kommt ebenfalls zum Schluss, dass Massnahmen bei Planung, Auslegung und Betrieb der erfolgversprechendste Weg sind, um die Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit der eingelagerten Abfälle im Falle eines Kontrollverlustes über das Lager zu minimieren. Im Gegensatz zur Vorgängerstudie können die Überlegungen auf Basis eines detailliert beschriebenen Projektes der Nagra erfolgen, wodurch konkrete Massnahmen vorgeschlagen werden können.

Mit Konzept der Nagra schon viel erreicht

Die vorliegende Studie kommt zum Schluss, dass mit dem aktuellen Konzept der Nagra, beispielsweise mit der fortlaufenden Verfüllung und der Versiegelung der Lagerstollen, schon viel erreicht ist, um negative Auswirkungen auf das Tiefenlager im Fall eines Kontrollverlustes zu reduzieren. Weitere Optimierungen sind aus Sicht der Autoren dieser Studie möglich, entsprechende Massnahmen sind im Kapitel 4.4 aufgeführt. Alle diese Massnahmen sollten jedoch im Rahmen einer Gesamtbetrachtung aller Anforderungen evaluiert werden, um das Ziel der Langzeitsicherheit optimal zu erfüllen.

Abhängigkeit des Risikos eines Kontrollverlustes von der Dauer des Prozesses

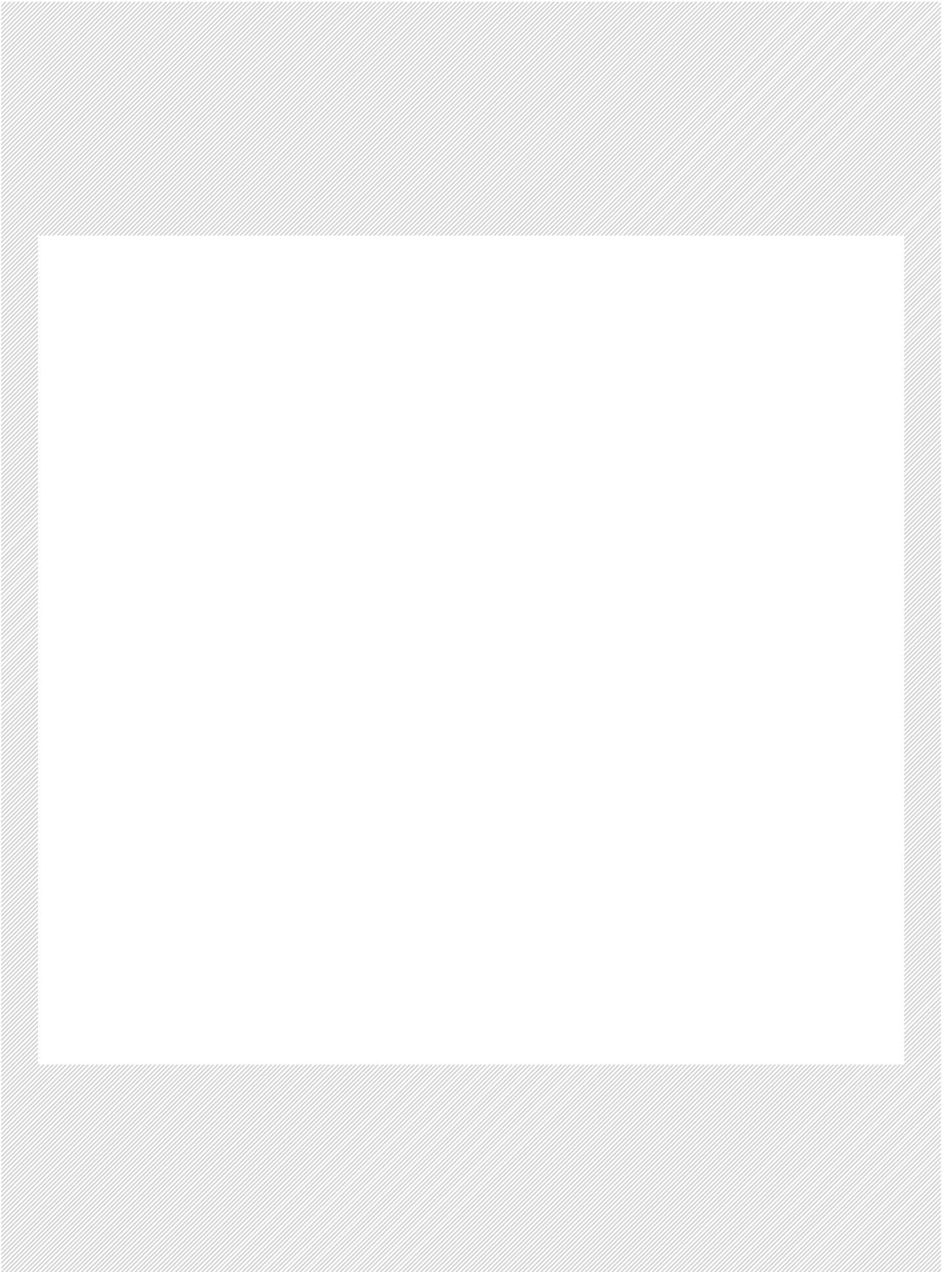
Das Risiko eines möglichen Kontrollverlustes über die radioaktiven Abfälle verändert sich mit der Zeit. Während heute die Exposition der Abfälle am grössten ist und mit der Zeit durch die Verbringung ins Tiefenlager deutlich abnimmt, verhält es sich mit der Unsicherheit bezüglich der gesellschaftlichen Fähigkeit zur Kontrolle der Abfälle umgekehrt. Relevant ist hierbei die Erkenntnis, dass je länger der Prozess für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle dauert, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Gesellschaft im Verlaufe des Prozesses die Kontrolle verlieren könnte.

kritische Betrachtung des Verfahrens wäre hilfreich

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sind im Hinblick auf die Standortwahl des Tiefenlagers auch unter dem Gesichtspunkt eines potentiellen Kontrollverlustes über das Lager in der Zukunft adäquat. Die darüber hinaus gehenden Rahmenbedingungen für die weitere Projektentwicklung berücksichtigen nach Ansicht der Autoren die Möglichkeit eines Kontrollverlustes über die Abfälle jedoch nur am Rande. Eine kritische Betrachtung und Diskussion dieses Themas gerade auch im Hinblick auf die Baubewilligung könnte zu einer sicherheitsgerichteten Optimierung des Verfahrens zur Realisierung eines Tiefenlagers beitragen.









ENSI 33/698

ENSI, CH-5200 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 56 460 84 00, E-Mail [Info@ensi.ch](mailto:Info@ensi.ch), [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)