



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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



# Beurteilung der Anforderungen an die bautechnische Machbarkeit und deren Umsetzung im Standortauswahlverfahren SGT Etappe 1

Expertenbericht

im Rahmen der Beurteilung des Vorschlags geologische Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager, Etappe 1, Sachplan geologische Tiefenlager

Emch+Berger AG

Februar 2010

## **Sachplan Geologische Tiefenlager SGT Etappe 1**

Version 6.00 | 24. Februar 2010

### **Beurteilung der Anforderungen an die bautechnische Machbarkeit und deren Umsetzung im Standortauswahlverfahren SGT Etappe 1**

Expertenbericht  
zuhanden des  
Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates ENSI

---

**Inhaltsverzeichnis**


---

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>i</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....
1.1	Veranlassung.....
1.2	Aufgabenstellung des Experten.....
1.3	Grundlagen .....
1.3.1	Zu beurteilende Dokumente.....
1.3.2	Weitere Dokumente der Nagra .....
1.3.3	Weitere Dokumente .....
1.4	Vorgehen der Nagra bei der Einengungsprozedur .....
1.5	Vorgehensweise Experte .....
<b>2</b>	<b>Beurteilung der bautechnischen Anforderungen an das Wirtgestein</b> .....
2.1	Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit / Gesteinsfestigkeit und Verformungseigenschaften bzw. diff. gestörte Zonen .....
2.1.1	Vorgaben zur Anwendung der Indikatoren für die Einengungsprozedur [Tabelle 2.5-2 NTB 08-03]....
2.1.2	Anforderung an die Geologie [Kap. 5 NTB 08-05] / Festlegung von potenziell wichtigen Indikatoren und Erläuterungen ihres sicherheitstechnischen Kontexts [Kap. 5.3.2].....
2.1.3	Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit [Anhang A1.1 NTB 08-05] .....
2.1.4	Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten [Anhang A1.29 NTB 08-05] .....
2.1.5	Diffus gestörte Zonen [Anhang A1.38 NTB 08-05] .....
2.1.6	Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften [Anhang A1.47 NTB 08-05].....
2.2	Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen.....
2.2.1	Vorgaben zur Anwendung der Indikatoren für die Einengungsprozedur [Tabelle 2.5-2 NTB 08-03]..
2.2.2	Erläuterung der im Einengungsverfahren verwendeten Indikatoren im Kontext der Vorgaben aus dem SGT, Anhang I. [Tabelle 5.3-4 NTB 08-05] .....
2.2.3	Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen [Anhang A1.48 NTB 08-05] .....
2.3	Natürliche Gasführung im Wirtgestein .....
2.3.1	Vorgaben zur Anwendung der Indikatoren für die Einengungsprozedur [Tabelle 2.5-2 NTB 08-03]..
2.3.2	Natürliche Gasführung (im Wirtgestein) [Anhang A1.49 NTB 08-05].....
2.4	Einfluss der Temperatur auf die Bautechnik und Langzeitsicherheit (Arbeitssicherheit, Kühlung und Feuchtigkeitseintrag, Gebirgsverhalten).....
2.4.1	Vorgaben zur Anwendung der Indikatoren für die Einengungsprozedur [Tabelle 2.5-2 NTB 08-03]..
2.4.2	Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Temperatur [Anhang A1.32 NTB 08-05] .....
2.5	Lagerkonzepte / Laterale Ausdehnung / Besondere Anforderungen an die Bautechnik (Platzangebot untertags, Mindestabstände der Kammern und Stollen, Lüftung, Anordnung der Lagerkammern, Feuchtigkeitseintrag).....
2.5.1	Lagerkonzepte SMA- und HAA-Lager [Kap. 2.5.3 NTB 08-05] .....
2.5.1.1	Lagerkonzepte SMA-Lager [Kap. 2.5.3.1 bzw. Fig. 2.5-1 Modellhafte Lagerauslegung SMA für das umhüllende Abfallinventar] .....
2.5.1.2	Lagerkonzepte HAA-Lager [Kap. 2.5.3.2 bzw. Fig. 2.5-2 Modellhafte Lagerauslegung HAA für das umhüllende Abfallinventar] .....
2.5.2	Laterale Ausdehnung [Anhang A1.7 NTB 08-05].....
2.5.3	Platzangebot untertags [Anhang A1.8 NTB 08-05].....
2.5.4	Lagerkonfigurationen für SMA- und HAA-Lager [Anhang 2 NTB 08-05] .....
<b>3</b>	<b>Beurteilung der bautechnischen Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine</b> .....

3.1	Charakterisierung der möglichen Wirtgesteine und einschlusswirksamen Gebirgsbereiche [Kap. 4.3 NTB 08-04] .....	16
3.1.1	Opalinuston mit Rahmengesteinen [Kap. 4.3.1 NTB 08-04].....	16
3.1.1.1	Lagerbedingte Einflüsse [Kap. 4.3.1.3 NTB 08-04].....	16
3.1.1.2	Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.1.4 NTB 08-04] .....	16
3.1.2	Tonsteinabfolge ‚Brauner Dogger‘ mit Rahmengesteinen [Kap. 4.3.2 NTB 08-04] .....	17
3.1.2.1	Lagerbedingte Einflüsse [Kap. 4.3.2.3 NTB 08-04].....	17
3.1.2.2	Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.2.4 NTB 08-04] .....	17
3.1.3	Effinger Schichten [Kap. 4.3.3 NTB 08-04] .....	17
3.1.3.1	Lagerbedingte Einflüsse [Kap. 4.3.3.3 NTB 08-04].....	17
3.1.3.2	Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.3.4 NTB 08-04] .....	17
3.1.4	Mergel-Formationen des Helvetikums [Kap. 4.3.4 NTB 08-04].....	17
3.1.4.1	Lagerbedingte Einflüsse [Kap. 4.3.4.3 NTB 08-04].....	17
3.1.4.2	Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.4.4 NTB 08-04] .....	17
3.2	Charakterisierung der bevorzugten Wirtgesteine für das SMA-Lager [NTB 08-03 Kap. 4.4] .....	18
3.2.1	Opalinuston mit seinen Rahmengesteinen [NTB 08-03 Kap. 4.4.1].....	18
3.2.2	Tonsteinabfolge ‚Brauner Dogger‘ und ihre Rahmengesteine [NTB 08-03 Kap. 4.4.2].....	18
3.2.3	Effinger Schichten [NTB 08-03 Kap. 4.4.3] .....	18
3.2.4	Mergel-Formationen des Helvetikums [NTB 08-03 Kap. 4.4.4].....	19
3.3	Charakterisierung der bevorzugten Wirtgesteine für das HAA-Lager (Opalinuston) [NTB 08-03 Kap. 4.3 / 4.5].....	19
3.4	Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine für das SMA-Lager [NTB 08-03 Kap. 4.6.1].....	20
3.4.1	Opalinuston .....	20
3.4.2	Tonsteinabfolge ‚Brauner Dogger‘ .....	20
3.4.3	Effinger Schichten.....	20
3.4.4	Mergel-Formationen des Helvetikums .....	20
3.5	Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine für das HAA-Lager [NTB 08-03 Kap. 4.6.2].....	20
3.6	Zusammenfassung der Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine für das SMA-Lager [Kap. 4.7.1 NTB 08-03] .....	21
3.7	Zusammenfassung der Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine für das HAA-Lager [Kap. 4.7.2 NTB 08-03] .....	21
<b>4</b>	<b>Beurteilung der bautechnischen Bewertung der vorgeschlagenen geologischen Standortgebiete .....</b>	<b>22</b>
4.1	Bevorzugte Bereiche für das SMA-Lager [Kap. 5.2 NTB 08-03].....	22
4.1.1	Konfiguration mit Opalinuston, Tonsteinabfolge ‚Brauner Dogger‘ und Effinger Schichten für das SMA-Lager [Kap. 5.2.1 bis 5.2.3 NTB 08-03] .....	22
4.1.2	Konfiguration mit Mergel-Formationen des Helvetikums für das SMA-Lager [Kap. 5.2.4 NTB 08-03] .....	22
4.2	Bevorzugte Bereiche für das HAA-Lager [Kap. 5.3 NTB 08-03].....	22
4.3	Charakterisierung und Bewertung der bevorzugten Bereiche für das SMA-Lager [Kap. 5.4 NTB 08-03].....	22
4.3.1	SMA-Bereich mit Opalinuston im Tafeljura Nord (SMA-OPA-TJ-N) [Kap. 5.4.2 NTB 08-03] .....	23
4.3.2	SMA-Bereich mit Opalinuston im Tafeljura Süd (SMA-OPA-TJ-S) [Kap. 5.4.3 NTB 08-03] .....	23
4.3.3	SMA-Bereich mit der Tonsteinabfolge ‚Brauner Dogger‘ im Tafeljura (SMA-BD-TJ) [Kap. 5.4.4 NTB 08-03] .....	23
4.3.4	SMA-Bereich mit Opalinuston in der Vorfaltenzone Ost (SMA-OPA-VZ-O) [Kap. 5.4.5 NTB 08-03] .....	23
4.3.5	SMA-Bereich mit der Tonsteinabfolge ‚Brauner Dogger‘ in der Vorfaltenzone Ost (SMA-BD-VZ-O) [Kap. 5.4.6 NTB 08-03] .....	24
4.3.6	SMA-Bereich mit der Tonsteinabfolge ‚Brauner Dogger‘ in der Vorfaltenzone West (SMA-BD-VZ-W) [Kap. 5.4.7 NTB 08-03] .....	24
4.3.7	SMA-Bereich mit Opalinuston in der Vorfaltenzone West (SMA-OPA-VZ-W) [Kap. 5.4.8 NTB 08-03] .....	24

4.3.8	SMA-Bereich mit Opalinuston in der Subjurassischen Zone Ost (SMA-OPA-SJ-O) [Kap. 5.4.9 NTB 08-03].....	25
4.3.9	SMA-Bereich mit Effinger Schichten in der Subjurassischen Zone Ost (SMA-EFF-SJ-O) [Kap. 5.4.10 NTB 08-03].....	25
4.3.10	SMA-Bereich mit Opalinuston in der Subjurassischen Zone West (SMA-OPA-SJ-W) [Kap. 5.4.11 NTB 08-03].....	25
4.3.11	SMA-Bereich mit Effinger Schichten in der Subjurassischen Zone West (SMA-EFF-SJ-W) [Kap. 5.4.12 NTB 08-03].....	25
4.3.12	SMA-Bereich mit Mergel-Formationen im Helvetikum (SMA-MG-HEL) [Kap. 5.4.13 NTB 08-03].....	26
4.4	Charakterisierung und Bewertung der bevorzugten Bereiche für ein HAA-Lager [Kap. 5.5 NTB 08-03].....	26
4.4.1	HAA-Bereich mit Opalinuston im Tafeljura (HAA-OPA-TJ) [Kap. 5.5.2 NTB 08-03] .....	26
4.4.2	HAA-Bereich mit Opalinuston in der Vorfaltenzone Ost (HAA-OPA-VZ-O) [Kap. 5.5.3 NTB 08-03] .....	26
4.4.3	HAA-Bereich mit Opalinuston in der Vorfaltenzone Mitte (HAA-OPA-VZ-M) [Kap. 5.5.4 NTB 08-03] .....	27
4.4.4	HAA-Bereich mit Opalinuston in der Vorfaltenzone West (HAA-OPA-VZ-W) [Kap. 5.5.5 NTB 08-03] .....	27
4.5	Zusammenstellung der Bewertung der geologischen Standort-gebiete für das SMA- und HAA-Lager [Kap. 5.8, Anhang C.4 NTB 08-03] .....	27
<b>5</b>	<b>Zusammenfassende Beurteilung.....</b>	<b>29</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>30</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>32</b>

---

# 1 Einleitung

---

## 1.1 Veranlassung

Mit Datum vom 23.01.2009 beauftragte die Schweizerische Eidgenossenschaft, vertreten durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), die Emch+Berger AG Bern (E+B) mit der Unterstützung bei der Begutachtung der von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) eingereichten Berichte für die vorgeschlagenen Standortgebiete in Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT). Gegenstand der Beurteilung waren die folgenden Punkte:

- Teilaspekte der Überprüfung (gemäss SGT Auswahl von Standortgebieten Seite 36): Bau- und Betriebssicherheit sowie Bautechnik bezogen auf die Langzeitsicherheit (nachhaltige Entfestigung des Gesteins, langfristige Auflockerungszone).
- Umsetzung der Kriterien zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit (SGT Kap. 4 Etappe 1 Auswahl von geologischen Standortgebieten je SMA- und HAA-Lager Seite 40): Kriteriengruppe 4: **Bautechnische Eignung**: Kriterien 4.1 **Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen** + 4.2 **Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung**.
- Beurteilung der bautechnischen Machbarkeit zu den vorgeschlagenen Standortgebieten für das SMA- und HAA-Lager gemäss SGT Etappe 1 (Auswahl von geologischen Standortgebieten).

## 1.2 Aufgabenstellung des Experten

Der vorliegende Expertenbericht beurteilt die Aspekte der bautechnischen Machbarkeit - Kriteriengruppe 4 der bautechnischen Eignung mit den Kriterien 4.1 „Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen“ und 4.2 „Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung“ - für die Schritte 4 und 5 gemäss Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 1.

- Schritt 4: Identifikation potenziell geeigneter Wirtgesteine bzw. einschliessungswirksamer Gebirgsbereiche
- Schritt 5: Identifikation geeigneter Konfigurationen

Die Beurteilung der Kriterien der bautechnischen Eignung sind für die Schritte 4 und 5 vorgesehen [Tabelle A1-14 SGT]:

- Schritt 4: **Kriterium 4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen**:  
Tiefenlage und erwartete Gebirgsspannungen, Gesteinsfestigkeiten, Verformungsverhalten
- Schritt 5: **Kriterium 4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen**:  
Tiefenlage bzw. erwartete Gebirgsspannungen, Gesteins- und Gebirgsfestigkeit, Verformungseigenschaften  
**Kriterium 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung**:  
Zugänglichkeit der Untertagebauwerke, geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse (inkl. Grundwasserleiter, Karst, natürliche Gasführung)

Im vorliegenden Expertenbericht sind bei der Überprüfung der Sicherheit und bautechnischen Machbarkeit für die vorgeschlagenen Standortgebiete folgende Fragen zu prüfen [SGT Anhang 1 Kap. 1.1.6]:

- Sind die von den Entsorgungspflichtigen hergeleiteten quantitativen und qualitativen Anforderungen an die geologisch-tektonische Situation, an das Wirtgestein bzw. den

einschlusswirksamen Gebirgsbereich und an den Standort (Schritt 2) nachvollziehbar und genügend?

- Haben die Entsorgungspflichtigen die vorgegebenen Kriterien bei der Erarbeitung der Vorschläge potenzieller Standortgebiete adäquat und stufengerecht berücksichtigt?

## 1.3 Grundlagen

### 1.3.1 Zu beurteilende Dokumente

Die nachfolgend aufgeführten Berichte der Nagra bilden die Grundlage für die Beurteilung der bautechnischen Machbarkeit gemäss SGT Etappe 1:

- **NTB 08-03** (Hauptbericht) Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und HAA-Lager „Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse“ Oktober 2008
- **NTB 08-04** Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und HAA-Lager „Geologische Grundlagen“ Oktober 2008 [Textband + Beilagenband]
- **NTB 08-05** Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und HAA-Lager „Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie“ Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit Oktober 2008

### 1.3.2 Weitere Dokumente der Nagra

Diese nachfolgend aufgeführten Dokumente der Nagra wurden für die Beurteilung der unter Kapitel 1.3.1 aufgeführten Nagra-Berichte ebenfalls für die Stellungnahme beigezogen, jedoch nicht beurteilt:

- **Nagra Interner Bericht** Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und HAA-Lager „Grundlagen und Umsetzung der Indikatoren, ‚Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit‘ sowie ‚Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften“ Bericht zu Behördenanfrage, März 2009
- **Nagra Interner Bericht** Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und HAA-Lager „Interne Arbeitsnotizen zu den Grundlagen und zur Umsetzung des Indikators ‚Platzangebot untertags“ Bericht zu Behördenanfrage, März 2009
- **Nagra Interner Bericht** Felsmechanische Eigenschaften von Gesteinen der Oberen Süsswassermolasse OSM, Oberen Meeresmolasse OMM und der Unteren Süsswassermolasse USM, Oktober 2007
- **Nagra Interner Bericht** Felsmechanische Eigenschaften von Gesteinen der Effinger Schichten, November 2007
- **NAB 08-48** Felsmechanische Eigenschaften möglicher Wirtgesteine für geologische Tiefenlager, Dezember 2008
- **NAB 04-11** Entsorgungsprogramm 2005 Lagerkonzepte SMA Unterlagen zur Beurteilung Standortoptionen SMA aus baulicher und wirtschaftlicher Sicht – Felsmechanische Berechnung Kavernenquerschnitte, Juni 2004
- **NAB 09-29** Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1: Fragen des ENSI und seiner Experten und zugehörige Antworten der Nagra, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2010

### 1.3.3 Weitere Dokumente

Für die Beurteilung der bautechnischen Machbarkeit wurden durch die Nagra weitere Dokumente beigezogen:

- Sachplan geologisches Tiefenlager [Bundesamt für Energie BFE, 02. April 2008]
- SIA-Norm 198 Untertagebau Ausführung Ausgabe 2004 [SN 531 198]
- SIA-Empfehlung 199 Erfassung des Gebirges im Untertagebau (Beschreibung des Gebirges, Beurteilung des Gebirges, Geologische, hydrologische und geotechnische Berichte) Empfehlung Ausgabe 10/1998 [SN 531 199]
- SUVA Grundlagen zur Charakterisierung der Erdgasgefährdung bei Untertagebauten Juli 2002 (Bulletin angewandte Geologie)

## 1.4 Vorgehen der Nagra bei der Einengungsprozedur

Die Nagra beschreibt im Hauptbericht NTB 08-03 das Vorgehen zur Festlegung von geologischen Standortgebieten (Einengungsprozedur). Die schrittweise Einengung führt zu Vorschlägen von geologischen Standortgebieten für das SMA- und das HAA-Lager. Ausgangspunkt der Prozedur sind die vorgeschlagene Zuteilung der Abfälle auf das SMA- und das HAA-Lager (Schritt 1), das auf das zugeteilte Abfallinventar abgestimmte Barrieren- und Sicherheitskonzept sowie die daraus abgeleiteten Anforderungen und Vorgaben für die Geologie (Schritt 2). Die detaillierte Einengungsprozedur zur Identifikation der weiter zu betrachtenden geologisch-tektonischen Grossräume (Schritt 3), der bevorzugten Wirtgesteine bzw. einschlusswirksamen Gebirgsbereiche (Schritt 4) und der vorzuschlagenden geologischen Standortgebiete (Schritt 5) erfolgt in dieser Reihenfolge. Die Grundelemente der Einengungsprozedur sind die Indikatoren, welche in Übereinstimmung mit dem SGT beschrieben sind.

Bezogen auf die Bautechnik sind die Schritte 4+5 von Bedeutung. Die wesentlichen Kriterien bezüglich Bautechnik sind gemäss der in Kapitel 2 (NTB 08-03) beschriebenen Vorgaben:

- Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (Kriterium 1.1, 4.1)
- Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften (Kriterium 4.1)
- Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen (Kriterium 4.2)
- Natürliche Gasführung im Wirtgestein und den überlagernden Schichten (Kriterium 4.2)

Für die in diesem Expertenbericht zu beurteilenden Anforderungen an die bautechnische Machbarkeit sind gemäss NTB 08-03 Tabelle 2.5-2 folgende Indikatoren zu beurteilen:

- **Indikator: 'Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit'** (NTB 08-05, Anhang A1, Seite A1-5 Kap. A1.1) (Schritt 4+5 / Kriterium 1.1 Räumliche Ausdehnung bzw. 4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen)
- **Indikator: 'Laterale Ausdehnung'** (NTB 08-05, Anhang A1, Seite A1-27, Kap. A1.7) (Schritt 4+5 / Kriterium 1.1 Räumliche Ausdehnung)
- **Indikator: 'Platzangebot untertags'** (NTB 08-05, Anhang A1, Seite A1-30, Kap. A1.8) (Schritt 5 / Kriterium 1.1 Räumliche Ausdehnung)
- **Indikator: 'Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten'** (NTB 08-05, Anhang A1, Seite A1-103, Kap. A1.29) (Schritt 4+5 / Kriterium 2.3 Lagerbedingte Einflüsse)
- **Indikator: 'Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Gas'** (NTB 08-05, Anhang A1, Seite A1-109, Kap. A1.31) (Schritt 4 / Kriterium 2.3 Lagerbedingte Einflüsse)
- **Indikator: 'Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Temperatur'** (NTB 08-05, Anhang A1, Seite A1-111, Kap. A1.32) (Schritt 4+5 / Kriterium 2.3 Lagerbedingte Einflüsse)



- **Indikator: 'Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften'** (NTB 08-05, Anhang A1, Seite A1-147, Kap. A1.47) (Schritt 4+5 / Kriterium 4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen)
- **Indikator: 'Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen'** (NTB 08-05, Anhang A1, Seite A1-151, Kap. A1.48) (Schritt 5 / Kriterium 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung)
- **Indikator: 'Natürliche Gasführung (im Wirtgestein)'** (NTB 08-05, Anhang A1, Seite A1-154, Kap. A1.49) (Schritt 5 / Kriterium 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung)

## 1.5 Vorgehensweise Experte

Bei der Beurteilung der durch den Entsorgungspflichtigen (Nagra) eingereichten Unterlagen ist der Hauptbericht NTB 08-03 als massgebendes Dokument zu überprüfen. Dazu werden die referenzierten weiteren Dokumente der Nagra für die Überprüfung der bautechnischen Machbarkeit beigezogen und ebenfalls beurteilt (NTB 08-04 „Geologische Grundlagen“, NTB 08-05 „Begründung der Abfallzuteilung der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie“).

Dabei werden die Textpassagen aus den Nagra-Dokumenten, welche die bautechnische Machbarkeit beinhalten, zitiert und anschliessend eine Stellungnahme dazu abgegeben (Stellungnahme in blauer Schrift).

Die Beurteilung des Indikators **Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Gas** wird in einem separaten Bericht behandelt und ist nicht Gegenstand des vorliegenden Expertenberichts.

## 2 Beurteilung der bautechnischen Anforderungen an das Wirtgestein

---

Die nachfolgende Gliederung des Expertenberichts richtet sich nach den bautechnisch relevant erscheinenden Schwerpunktthemen:

- Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit / Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften / Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten / diffus gestörte Zonen
- Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen
- Natürliche Gasführung im Wirtgestein und den überlagernden Schichten
- Einfluss der Temperatur auf die Bautechnik und Langzeitsicherheit (Arbeitssicherheit, Kühlung und Feuchtigkeitseintrag, Gebirgsverhalten)
- Lagerkonzepte / Laterale Ausdehnung / Besondere Anforderungen an die Bautechnik (Platzbedarf untertags, Mindestabstände der Kammern und Stollen, Lüftung, Anforderung an die Lagerkammern)

### 2.1 Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit / Gesteinsfestigkeit und Verformungseigenschaften bzw. diffus gestörte Zonen

#### 2.1.1 Vorgaben zur Anwendung der Indikatoren für die Einengungsprozedur [Tabelle 2.5-2 NTB 08-03]

Zur Beurteilung der bautechnischen Aspekte sind vor allem die beiden Indikatoren 'Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften' und 'Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit' massgebend.

Die bautechnischen Aspekte werden durch die von der Nagra durchgeführte Einengungsprozedur zweckmässig und zielgerichtet berücksichtigt.

Evaluation der Konfiguration (Schritt 5):

##### **Kriterium 1.1 Räumliche Ausdehnung:**

Die angenommenen Tiefenlagen sind im Hinblick auf die Bautechnik zweckmässig. Nicht nachvollziehbar waren zunächst die Angaben für Kristallingesteine. Wie leiten sich die angegebenen Mindestanforderungen bezüglich der Tiefenlagen für Kristallingesteine ab? (Diese Frage wurde mit dem nachgereichten NAB 09-29 beantwortet).

Wichtig sind auch die Anforderungen bzw. Bewertungen für die Indikatoren 'laterale Ausdehnung' und 'Platzangebot untertags', um bei allfälligen Störzonen, die auf dieser Stufe (SGT Etappe 1) nicht eruiert wurden, ausweichen zu können.

##### **Kriterium 4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen**

Die angenommenen Werte und die Beurteilung der Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit für die verschiedenen Gesteinsschichten sind, auch im Hinblick auf die vorhandene Beurteilungstiefe, zweckmässig.

**Indikator: 'Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften':** Die Bewertung der Nagra bezüglich Gesteinsfestigkeit ist unter Berücksichtigung der Untersuchungstiefe zweckmässig. In den nachfolgenden Etappen ist zu hinterfragen, ob die Bewertung des erwarteten Trennflächengefüges für SMA- und HAA-Lager identisch sein soll, dies im Hinblick

auf die Langzeitsicherheit (langfristige Durchlässigkeit des Gesteins), oder ob bei den HAA-Lagern grössere Anforderungen zu stellen sind.

### **2.1.2 Anforderung an die Geologie [Kap. 5 NTB 08-05] / Festlegung von potenziell wichtigen Indikatoren und Erläuterungen ihres sicherheitstechnischen Kontexts [Kap. 5.3.2]**

- **Kriterium 4.1: Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen (Kap. II.1.2.4):**

Indikator: '**Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit**': [Seite 168]

Indikator: '**Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften**': [Seite 168]

Eine zu tiefe Lage ist, insbesondere auf der Basis der vorliegenden Untersuchungsgenauigkeit, auszuschliessen, da sie je nach Grad zu erheblichen Behinderungen im Bauablauf, zu einem erhöhten Aufwand an die Sicherungsmittel und zu grossen Verformungen führen können. Dies würde bei den SMA-Lagern zur Beschränkung auf kleinere Querschnitte und bei den HAA-Lagern zu grossen Verformungen oder aufgrund der Beschränkung der Sicherungsmittel (nur Stahlelemente) zu Einengungen des Querschnittes führen. Bei ungenügenden felsmechanischen Parametern ist mit grossen Verformungen und Auflockerungen des umliegenden Gesteins zu rechnen, die auf die Barrierenwirkung des Wirtgesteins einen negativen Einfluss haben können. Die Anforderungen der Nagra sind nachvollziehbar und zweckmässig.

### **2.1.3 Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit [Anhang A1.1 NTB 08-05]**

- Kriterium 1.1 Räumliche Ausdehnung: Schritt 4.1 / 5.1 und 5.2
- Kriterium 4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen: Schritt 4.1 und 5.3

Mit zunehmender Tiefe der Lager unter Terrain nehmen die Gebirgsspannungen zu, was Einfluss auf die Standfestigkeit und auf die Verformung der ausgebrochenen Hohlräume hat. Die erforderlichen Sicherungsmassnahmen sind abhängig von den Festigkeiten und den Verformungseigenschaften des Gebirges, bzw. des Gesteins. Die Langzeitsicherheit, insbesondere bei den HAA-Lagerstollen, ist abhängig von den Auflockerungszonen im Übergangsbereich zum Gebirge und deren spätere Ausheilung bei der Aufsättigung. Die Sicherungsmöglichkeiten in den HAA-Lagerstollen sind mit dem von der Nagra für die Einengungsprozedur zugrunde gelegten Lagerkonzept auf Stahleinbauten und Anker beschränkt. Gleichzeitig weisen die Lagerstollen aber mit einem vorgesehenen Durchmesser von 2.50 m einen relativ kleinen Querschnitt auf. Nicht erwähnt wird im Bericht [NTB 08-05], dass die Stärke der temporären Sicherung in der Regel einen Einfluss auf die Auflockerung des Gebirges hat. Je starrer und schneller die Sicherung eingebaut wird, umso geringer ist generell die Auflockerung. Eine Verkleinerung des Stollenquerschnittes aufgrund von felsmechanischen Bedingungen ist aus Gründen der Bautechnik (Baugistik, TBM-Abmessungen, Arbeitsraum, Lüftung, etc.) und der Einlagerung kaum möglich.

Die SMA-Lagerkavernen sind wesentlich grösser als die HAA-Lagerstollen und variieren in den Querschnittsabmessungen. Zur Sicherung der Querschnitte kommen Beton, Stahl und Anker zur Anwendung. Die Auflockerung des Gebirges im Nahbereich der Kavernen sollte beschränkt werden. Sowohl bei der Querschnittsgrösse wie auch bei der eingebauten Hohlraumsicherung bestehen verschiedene Möglichkeiten der Sicherung, abhängig von den felsmechanischen Randbedingungen. Ein Rückbau der eingebauten Sicherungsmassnahmen vor dem Verschluss der Kavernen mit Beton, wie er im Nagra-Bericht (NTB 08-05, A1-6) erwähnt wird, führt aus unserer Sicht sofort wieder zu zusätzlichen neuen Auflockerungszo-

nen im Nahbereich der Hohlräume. Die Deformationen und Auflockerungen sind, wie erwähnt wird, mit bautechnischen Massnahmen möglichst klein zu halten. Sie hängen neben den felsmechanischen Gebirgseigenschaften und den primären Gebirgsspannungen zu einem guten Teil auch vom Einbaupunkt und der Steifigkeit der Hohlraumsicherung ab. Bezüglich der Ausrichtung der Lagerkavernen auf die Hauptspannungsrichtung besteht bei den SMA-Lagerkavernen eine grössere Flexibilität, da sie nicht parallel zueinander ausgerichtet werden müssen.

Dass der Wasserfluss in den Ausbruchquerschnitten klein zu halten ist, ist eine wichtige Randbedingung. Da die vorgesehenen Wirtgesteine aus der Anforderung an die Langzeitsicherheit relativ dicht sein müssen, kann ein Gebirgswasserzufluss ohne Verletzung der Anforderungen an das Wirtgestein in der Regel nicht auftreten.

Eine allgemein gültige theoretische Beziehung zwischen Tiefenlage und bautechnischen Schwierigkeiten ohne Kenntnis der felsmechanischen und örtlichen geotechnischen Bedingungen gibt es nicht. Wie im Bericht angeführt, muss eine Beurteilung auf Grund von vergleichbaren Erfahrungswerten im Tunnelbau, semiempirischen Gesetzmässigkeiten und orientierenden Vergleichsberechnungen erfolgen (siehe dazu auch Expertenbericht der ETH Zürich, Amann & Löw).

Aufgrund dieser Bemerkungen beurteilen wir die angenommenen Werte für die Mindestanforderungen und die verschärften Anforderungen als zweckmässig. Insbesondere ist zu beachten, dass ausreichende praktische Erfahrungen im Tunnelbau in den entsprechenden Tiefenlagen für einzelne Gesteinsarten nicht vorhanden sind und darum die Werte vorsichtig anzusetzen sind, wie dies von der Nagra durchgeführt wurde. Eine direkte Übertragung von Erfahrungswerten für eine bestimmte geologische Formation auf eine analoge Schicht in einer anderen geologischen Situation ist ebenfalls mit Vorsicht und unter Berücksichtigung von entsprechenden Unsicherheiten und den lokalen Trennflächenhäufigkeiten vorzunehmen

#### **2.1.4 Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten [Anhang A1.29 NTB 08-05]**

- Kriterium 2.3 lagerbedingte Einflüsse: Schritt 4.3 / 5.3

Die Grösse der Auflockerungszonen und das Mass der Auflockerung sind abhängig von den geotechnischen Parametern (Gesteinsfestigkeit, E-Modul des Gebirges), den Abmessungen und der Form des Querschnittes und der Ausbruchsicherung (Art, Stärke und Zeitpunkt des Einbaus nach Ausbruch). Die Parameter Querschnittsabmessungen und Ausbausicherung sind im Rahmen der Bautechnik teilweise „steuerbar“, die geotechnischen Bedingungen ergeben sich aus der Tiefenlage und der Geologie. Zu einem späteren Zeitpunkt sind, bezogen auf die bevorzugten Standortgebiete, vertiefte Abklärungen der obengenannten Randbedingungen erforderlich. Die angeführten Anforderungen der Nagra sind aus unserer Sicht zweckmässig.

#### **2.1.5 Diffus gestörte Zonen [Anhang A1.38 NTB 08-05]**

- Kriterium 3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine: Schritt 3.1

Diffus gestörte Zonen haben einen wesentlichen Einfluss auf die bautechnische Machbarkeit. Die verschärften Anforderungen, dass diffus gestörte Zonen für SMA- und für HAA-Lager gemieden werden, ist darum zweckmässig.

#### **2.1.6 Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften [Anhang A1.47 NTB 08-05]**

- Kriterium 4.1 Felsmechanische Eigenschaften: Schritt 4.1 / 4.3 und 5.3

Grundlage für die Bewertung bilden Erfahrungen aus dem Tunnelbau, orientierende felsmechanische Berechnungen und Abschätzungen, sowie Resultate aus früheren Systemanalysen. Die Bewertung basiert unter anderem auch auf der SIA-Empfehlung 199 (Erfassung des Gebirges im Untertagbau), die im Tunnelbau als Grundlage für die Beschreibung und Beurteilung des Gebirges dient. Basis zur Beurteilung des Indikators 'Gesteinsfestigkeit und Verformungsverhalten' ist die einaxiale Druckfestigkeit. Dieser Wert lässt sich aus Gesteinsproben relativ einfach bestimmen und liegt in mehrfachen Resultaten vor (diverse Bohrungen und Versuche, siehe diverse Kapitel in NTB 08-04). Die bestimmten Werte werden in Anlehnung an die SIA-Empfehlung 199 (Anhang A4 2) aufgrund der Eigenschaften der Trennflächen (Schichtung, Schieferung, Klüftung), hydrogeologischen Bedingungen etc. abgestuft. Die Bewertung aufgrund der in SIA-Empfehlung 199 angegebenen Indikatoren, ist bezogen auf die vorliegende Untersuchungstiefe zweckmässig.

Nicht berücksichtigt in der Einstufung wird der E-Modul des Gebirges. Insbesondere das Verformungsverhalten und damit die Auflockerung des umliegenden Gebirges, (massgebend bei HAA-Lagern) werden aber zu einem massgebenden Anteil durch den E-Modul bestimmt.

## **2.2 Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen**

### **2.2.1 Vorgaben zur Anwendung der Indikatoren für die Einengungsprozedur [Tabelle 2.5-2 NTB 08-03]**

#### **Kriterium 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung**

Die Bewertung der geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen ist zweckmässig. Zusätzlich als ungünstig (bezüglich Bautechnik) einzustufen wären Grund- oder Thermalwassernutzungen im Einzugsbereich von Zugängen. Da für die Linienführung des Zugangstunnels in der Regel mehrere Möglichkeiten bestehen, ist für die Erschliessung in den nachfolgenden Etappen auf die obengenannten Nutzungen Rücksicht zu nehmen.

### **2.2.2 Erläuterung der im Einengungsverfahren verwendeten Indikatoren im Kontext der Vorgaben aus dem SGT, Anhang I. [Tabelle 5.3-4 NTB 08-05]**

Zur Beurteilung der „untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ sind nach unserer Ansicht neben der 'natürlichen Gasführung' gleichwertig auch die 'geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse der überlagerten Gesteinsformationen' massgebend (Berücksichtigung in den nachfolgenden Etappen erforderlich). Die Mächtigkeit der überlagernden Schichten spielt bei diesem Indikator eine wesentliche Rolle. Dies wird in der Etappe 2 nach SGT zu klären sein. Eine natürliche Gasführung kann in der Regel mit einer entsprechenden Bewetterung gelöst werden.

Eine erhöhte Wasserführung in den mit dem Zugangsstollen zu durchfahrenden Deckschichten kann erhebliche Probleme in der Wasserhaltung während dem Bau und dem Betrieb verursachen (Sicherheit). Die untertägigen Erschliessungswege (und deren Auflockerungszonen) werden voraussichtlich auch nach dem definitiven Verschluss eine Schwachstelle für die Freisetzung der in einer kompakten Schicht des Wirtgesteins eingeschlossenen Abfälle sein.

### **2.2.3 Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen [Anhang A1.48 NTB 08-05]**

- Kriterium 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung: Schritt 5.3

Für die bautechnische Machbarkeit der Lager sind die geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse in den überlagernden Gesteinsformationen von grosser Wichtigkeit. Massgebend ist die Mächtigkeit der bautechnisch Probleme verursachenden Gesteinsschichten hinsichtlich der Lockergesteinsabschnitte, der wasserführenden Schichten, sowie dem Karst und der gasführenden Abschnitte.

Nach unserer Ansicht führt bereits eine Gasstufe 2 (Ausgasung während langer Zeit) zu erheblichen Aufwendungen und Behinderungen im Bauablauf und im Betrieb der Erschliessungsbauwerke (auch bei fallendem Vortrieb), so dass eine Bewertung mit „bedingt günstig“ angebracht wäre. Die übrigen Bewertungskriterien sind nach unserer Ansicht zweckmässig.

## 2.3 Natürliche Gasführung im Wirtgestein

### 2.3.1 Vorgaben zur Anwendung der Indikatoren für die Einengungsprozedur [Tabelle 2.5-2 NTB 08-03]

'**Natürliche Gasführungen (im Wirtgestein)**': Aus unserer Sicht müsste, aufgrund des verzweigten Stollen- und Kavernensystems eines Tiefenlagers, bereits die Gefahrenstufe 2 als bedingt günstig beurteilt werden (erhöhter Lüftungsbedarf während der gesamten Bau- und Betriebszeit, inkl. erhöhtem Eintrag von Feuchtigkeit, umfangreichere Überwachung).

### 2.3.2 Natürliche Gasführung (im Wirtgestein) [Anhang A1.49 NTB 08-05]

- Kriterium 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung: Schritt 5.1 / 5.3

Gaseintritte (Methan, Schwefelwasserstoff, etc.) sind insbesondere während Bau und Betrieb zu beachten. Zur Verhinderung von Explosionen sind die Vorschriften der SUVA 2002 zu beachten. In der Regel kann die Explosionsgefahr mit einem umfangreicheren und stärkeren Belüftungssystem verhindert werden. Bei einzelnen starken Gaseintritten kann eine gezielte Absaugung erfolgen. Potenzielle Gas-Lagerstätten sind aber auszuschliessen, da sie eine zuverlässige Erstellung und den Betrieb eines Lagers stark erschweren würden. Nach unserer Ansicht würde bereits eine Gasstufe 2 (Ausgasungen während langer Zeit) zu erheblichen Behinderungen führen, da sich das Lager auf Grund der diversen verästelten Stollensysteme schwer lüften und kontrollieren liesse. Eine dadurch erhöhte Lüftung kann im Sommer auch zu einem Feuchtigkeitseintrag führen. Damit besteht das Risiko einer beschleunigten Entfestigung des umliegenden Gesteins. Insbesondere bei den HAA-Stollen, wo aus Gründen des Verschlusses keine Spitzbetonversiegelung der Ausbruchflächen erfolgen sollte, müssten entsprechende bautechnische Massnahmen getroffen werden. Eine Bewertung der Gasstufe 2 als „bedingt günstig“ ist darum sowohl für das SMA- wie auch für das HAA-Lager zweckmässig.

## 2.4 Einfluss der Temperatur auf die Bautechnik und Langzeitsicherheit (Arbeitssicherheit, Kühlung und Feuchtigkeitseintrag, Gebirgsverhalten)

### 2.4.1 Vorgaben zur Anwendung der Indikatoren für die Einengungsprozedur [Tabelle 2.5-2 NTB 08-03]

Zu beurteilen wäre eventuell auch eine erhöhte Erdwärme, die zusammen mit der Prozesswärme der Bauaktivität und eventuell bereits vorhandenen Einlagerungen (HAA-Lager) zu einer übermässigen Kühlleistung führen würde (Anforderungen SUVA 2002, Arbeitsplatzbedingungen SUVA). Dies kann wegen zusätzlich erforderlichen Lüftungsleitungen zu einem zusätzlichen untertägigen Platzbedarf für Lüftungs- und Kühlanlagen (Kavernen) und zu grösseren Querschnitten in den Zugangsstollen führen.

## **2.4.2 Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Temperatur [Anhang A1.32 NTB 08-05]**

- Kriterium 2.3 Lagerbedingte Einflüsse: Schritt 4.3 / 5.3

Das Kriterium (nur bei HAA-Lager relevant) bezieht sich in erster Linie auf das Verhalten des Wirtgesteins und ist darum bezüglich der Eigenschaften des Wirtgesteins zu beurteilen (geologische, physikalische und chemische Einflüsse).

## **2.5 Lagerkonzepte / Laterale Ausdehnung / Besondere Anforderungen an die Bautechnik (Platzangebot untertags, Mindestabstände der Kammern und Stollen, Lüftung, Anordnung der Lagerkammern, Feuchtigkeitseintrag)**

### **2.5.1 Lagerkonzepte SMA- und HAA-Lager [Kap. 2.5.3 NTB 08-05]**

#### **2.5.1.1 Lagerkonzepte SMA-Lager [Kap. 2.5.3.1 bzw. Fig. 2.5-1 Modellhafte Lagerauslegung SMA für das umhüllende Abfallinventar]**

Die Grobauslegung der SMA-Lager, inklusive erweiterte Lager ist aus Sicht der Bautechnik zweckmässig. Mit der weiteren Vertiefung der Untersuchungen sind die Auslegungen noch detaillierter bezüglich Bauabläufen, Logistik, Lüftung, Kühlung, Sicherheit (z.B. Fluchtwege bei Brand) und Einlagerungsprozess zu planen und zu prüfen.

#### **2.5.1.2 Lagerkonzepte HAA-Lager [Kap. 2.5.3.2 bzw. Fig. 2.5-2 Modellhafte Lagerauslegung HAA für das umhüllende Abfallinventar]**

Die Grobauslegung der HAA-Lager, inklusive erweiterte Lager ist aus Sicht der Bautechnik zweckmässig. Der vorgesehene Abstand der Lagerstollen von 40 m ist aufgrund der angenommenen Parameter bezüglich Bautechnik ausreichend. Eine Stollenlänge von 800 m ist auch aus Sicht der Baulogistik zweckmässig (dies im Hinblick auf die Ver- und Entsorgung der Baustelle und insbesondere der Bewitterung des relativ kleinen Stollendurchmessers).

Mit der weiteren Vertiefung der Untersuchungen sind die Auslegungen noch detaillierter bezüglich Bauabläufen, Logistik, Lüftung, Kühlung, Sicherheit und Einlagerungsprozess zu planen und zu prüfen. Insbesondere ist der zweckmässigste Standort des vorgesehenen Schachtes genauer zu untersuchen. Allenfalls sind zusätzliche Stollen, Schächte und Kavernen aus baulogistischen oder sicherheitstechnischen Gründen erforderlich.

### **2.5.2 Laterale Ausdehnung [Anhang A1.7 NTB 08-05]**

- Kriterium 1.1 Räumliche Ausdehnung: Schritt 3.1 / 3.3 / 4.1 und 5.1 & 5.2

Die Erhöhung der Mindestanforderungen gegenüber den Werten für den minimalen Platzbedarf untertags (gemäss NTB 08-05 Seite A1-28 Pkt. 2 von 2 km<sup>2</sup> auf 3 km<sup>2</sup> beim SMA-Lager; bzw. 4 km<sup>2</sup> auf 6 km<sup>2</sup> beim HAA-Lager), ist aufgrund der, zum heutigen Zeitpunkt nur rudimentär abgeschätzten geotechnischen Parameter, auch aus Sicht der Bautechnik zweckmässig.

### **2.5.3 Platzangebot untertags [Anhang A1.8 NTB 08-05]**

- Kriterium 1.1 Räumliche Ausdehnung: Schritt 5.2 / 5.3

Unter Berücksichtigung der geologischen Ungewissheiten sind die verschärften Anforderungen aus bautechnischer Sicht zweckmässig. Die angenommene Bewertung „sehr gut“ bei einem mindestens 4-fachen potenziellen umhüllenden Platzangebot und „gut“ bei einem

mindestens 2-fachen potenziellen umhüllenden Platzangebot ist aufgrund der geologischen Ungewissheit aus Sicht der Bautechnik ebenfalls angemessen.

#### **2.5.4 Lagerkonfigurationen für SMA- und HAA-Lager [Anhang 2 NTB 08-05]**

##### **Lagerkammern [Kap A2.3 NTB 08-05]**

Die in Tab. A2.3-1 für HAA-Lagerstollen dargestellten Querschnitte sind zweckmässig. Der Durchmesser für die mit einer Tunnelbohrmaschine herzustellenden HAA-Lagerstollen ist technisch ausführbar und wird auf Grund des doch relativ kleinen Ausbruchdurchmessers tolerierbare Verformungen und damit Auflockerungen bis zu einer Tiefe von rund 650 m u.T. aufweisen (siehe Expertenbericht der ETH Zürich, Amann & Löw). Mit zunehmender Überlagerung nimmt aber auch das Ausmass der Auflockerungszone zu. Als Sicherungsmassnahmen sind seitens Nagra Anker und Stahlmatten, sowie Beton (allerdings nur in begrenzten Mengen) vorgesehen. Der Querschnitt für die LMA-Lagertunnel ist im Opalinuston realisierbar. Als Sicherungsmittel wird aber neben Ankern, Stahlmatten und Einbaustahl auch Spritzbeton erforderlich sein.

In Tabelle A2.3-2 sind die vorgesehenen Lagerkavernen für SMA-Lager dargestellt. Die Lagerkavernen K16 und K20 weisen Abmessungen auf, die in den vorgesehenen geologischen Formationen (insbesondere Opalinuston) und Tiefenlagen voraussichtlich nur mit einem unverhältnismässig grossem Sicherungsaufwand zu realisieren sind. Ausbruch und Sicherung sind nur in Etappen ausführbar, was zu Spannungsumlagerungen und zu erhöhten Verformungen führen wird. Aufgrund der heute vorhandenen felsmechanischen Parameter sollte für die Beurteilung der Lagerkonfiguration maximal der Kavernentyp K09 berücksichtigt werden. Diese Querschnitte entsprechen ungefähr den bei bestehenden Strassentunneln ausgeführten Kavernen für Betriebs- und Lüftungszentralen.

Grössere Kavernen mit Abmessungen, wie K12 bis K20 wurden hauptsächlich in Kalk- oder Kristallingestein für Kraftwerkskavernen erstellt. Sie weisen auch eine statisch eher ungünstige Querschnittsform auf. Die Zweckmässigkeit dieser grossen Kavernenquerschnitte sollte in einem späteren Schritt, nach Vorliegen von genaueren felsmechanischen Werten überprüft werden.

Zur Gewährleistung des Ausbruchquerschnittes während der Bau-, Einlagerungs- und Verfüllungsdauer, sind nach Querschnittsgrössen abgestufte Sicherungen mit Anker, Einbaubogen und bewehrten Spritzbetonschalen erforderlich.

Die angenommenen Lagerlängen und Achsabstände für HAA-Lagerstollen und LMA-Lagertunnel sind aus unserer Sicht zweckmässig. Daraus folgend sind auch die angenommenen Abmessungen für das Lagerfeld (Randabstände) ausreichend.

##### **Lagerfeld [Kap A2.4 NTB 08-05]**

- Achsabstand zwischen BE/HAA-Lagerstollen: 40 m

Die angenommenen Achsabstände für BE/HAA-Lagerstollen sind als Basis für die vorliegende Untersuchungstiefe ausreichend und angebracht.

- Achsabstand zwischen LMA-Lagertunnel und SMA-Lagerkavernen: 100 m

Die Achsabstände für SMA- und LMA-Lagertunnel sind aus heutiger Sicht ausreichend. Bei einer Ausführung der kleineren Kavernenquerschnitte könnte der Abstand aus der Sicht der Bautechnik optimiert werden, was zu kleineren Lagerfeldern führen würde, bzw. die Differenz zu den Lagerfeldgrössen bei grossen Kavernen verkleinern würde.

Mindestabstände zur Auslegung der Lagerfelder für das SMA- und das HAA-Lager [NTB 08-05 Seite A2-7]



Die der Bewertung zu Grunde gelegten horizontalen Abstände zwischen Lagerkammern und Erschliessungsbauwerken von 100 m sind zweckmässig.

Bevorzugte Längen der einzelnen Lagerkammern [NTB 08-05 Seite A2-8 – A2-10]

Die angenommenen Längen von 700 m für HAA-Lagerstollen und 200 m für LMA- und SMA-Lagerkavernen sind aus bautechnischen und bauleistungsrechtlichen Gründen ebenfalls angebracht.

#### **Lagerzone [Kap A2.5 NTB 08-05]**

Kleinere Diskontinuitäten (kleinere wasserführende Störzonen) sind aus der Sicht der Bautechnik beherrschbar. Zusätzliche Fixlängen von 120 m (NTB 08-05, Fig. A2.5-3) sind vermutlich aus Gründen eines sicheren Verschlusses erforderlich (siehe auch NAB 09-29). Aus rein bautechnischen Gründen könnten diese Längen reduziert werden.

#### **Lagerkonfigurationen [Kap. A2.6 NTB 08-05]**

- Laterale Ausdehnung der Lagerzone bei optimaler geologischer Konfiguration [Kap. A2.6.2]

Nicht nachvollziehbar ist die Ermittlung der erforderlichen Flächen für die Erschliessungsbauwerke (NTB 08-05, Seite A2-18, Tabelle A2.6-2, 3. Zeile) (Siehe auch NAB 09-29).

Ebenfalls nicht nachvollziehbar ist auf der heutigen Basis der vorhandenen Grundlagen die Aussage, dass kleine Lagerkavernen (K04 und K06) einen wesentlich höheren Aufwand bedeuten und somit als nicht optimal beurteilt werden (NTB 08-05, s. A2-18) (siehe auch NAB 09-29). Kleinere Querschnitte sind bautechnisch wesentlich einfacher zu realisieren, verursachen geringere Verformungen und Auflockerungszonen und können nach kürzerer Zeit wieder verschlossen werden (kürzere Lüftungsperiode). Die definitive Wahl des optimalen Querschnittes kann nach unserer Ansicht erst zu einem späteren Zeitpunkt auf der Basis von exakteren Grundlagendaten erfolgen.

- Laterale Ausdehnung der Lagerzone bei ungünstiger geologischer Konfiguration [Kap. A2.6.3]

Die vorgesehene Berücksichtigung von ungünstigen geologischen Konfigurationen ist aus Sicht der Bautechnik gut und zweckmässig.

- Grundlagen zur Abschätzung des Platzangebotes [Kap. A2.6.4]

Wie bereits oben angeführt, könnte aus unserer Sicht beim Grundmodul SMA-Lager bei den kleineren Kavernentypen der gegenseitige Abstand noch optimiert werden, was zu grösseren Abfallvolumina pro Fläche (K04 bis K12) führen würde.

### 3 Beurteilung der bautechnischen Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine

---

#### 3.1 Charakterisierung der möglichen Wirtgesteine und einschlusswirksamen Gebirgsbereiche [Kap. 4.3 NTB 08-04]

##### 3.1.1 Opalinuston mit Rahmengesteinen [Kap. 4.3.1 NTB 08-04]

###### 3.1.1.1 Lagerbedingte Einflüsse [Kap. 4.3.1.3 NTB 08-04]

*Auflockerungszone und deren Selbstabdichtung:*

Die lokale hydraulische Durchlässigkeit der Auflockerungszone um Untertagebauten im Opalinuston ist in der Bau- und Betriebsphase um mehrere Grössenordnungen erhöht. Für die Grösse ... Lagerbereich zu berücksichtigen. [NTB 08-04 Kap. 4.3.1.3 Seite 134]

Die Grösse der Auflockerungszonen ist unter anderem abhängig von der Stärke der Sicherungsmassnahmen und dem Zeitpunkt des Einbaus. Eine Ausrichtung der Lagerstollen bezüglich Spannungsfeld (Stollenachse in Richtung der Hauptspannungen) hat ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Grösse der Auflockerungszone.

Weiter hat auch die Ausbruchmethode einen wesentlichen Einfluss auf den Grad der Auflockerung. Mit dem vorgesehenen Einsatz einer Tunnelbohrmaschine (TBM) bei den HAA-Lagerstollen wird ein relativ schonendes Verfahren angewendet. Zusätzlich können mit einem optimalen Bohrkopf-Design die Erschütterungen während der Ausbruchphase minimiert werden.

Wie die Erfahrungen an den Versuchsstollen Mont Terri gezeigt haben, ist der Opalinuston stark verwitterungsanfällig. Durch die Verwitterung, die bereits durch einen geringen Feuchtigkeitseintrag (Bauvorgang Bewetterung) eintreten kann, ergeben sich auch Festigkeitseinbussen, die wiederum einen negativen Einfluss auf die Auflockerungszonen haben können. Da in den HAA-Lagerstollen nach dem in NTB 08-05 gezeigten Konzept keine Versiegelung der Ausbruchsfläche mit Spritzbeton eingebracht werden soll, ist auf eine andere Art eine Oberflächenversiegelung bis zum Zeitpunkt des Verschlusses zu realisieren.

###### 3.1.1.2 Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.1.4 NTB 08-04]

Erfahrungen über mehr als hundert Jahre mit Untertagebauten im Opalinuston zeigen, ... diskreten Wasserzutritte zu erwarten. [Seite 137-138]

Ein zentraler Punkt zur Verminderung der Auflockerungszonen ist eine ausreichend bemessene Hohlraumsicherung und der rechtzeitige Einbau der Stützmassnahmen, insbesondere ein schneller Ringschluss bei SMA-Lagerkavernen (vollständiger Einbau der Sicherungsmittel).

Während Bau und Betrieb der Lagerkavernen und Lagerstollen sind unkontrollierte Wasserzutritte zu verhindern, da sie zu erheblichen Quelldrücken und Quellverformungen führen können. Lagerkavernen und Zugangstollen, die über längere Zeit offen bleiben, werden voraussichtlich konsequent mit einem Sohlgewölbe zu versehen sein.

Ausbrüche in den Kavernen mit Teilschnittmaschinen bedingen eine umfangreiche Bewetterung, die bei grösseren Querschnitten spezielle Absaugvorrichtungen bzw. Absaugstollen erfordern. Speziell beachtet werden müssen auch die Anforderungen bezüglich Arbeitsplatzbelastung (Quarzgehalt im Opalinuston).

### **3.1.2 Tonsteinabfolge ‚Brauner Dogger‘ mit Rahmengesteinen [Kap. 4.3.2 NTB 08-04]**

#### 3.1.2.1 Lagerbedingte Einflüsse [Kap. 4.3.2.3 NTB 08-04]

*Auflockerungszone und deren Selbstabdichtung [Kap. 4.3.2.3 NTB 08-04 Seite 148]:*

Da die tonigen Einheiten des Braunen Doggers ein ähnliches Selbstabdichtungsvermögen wie Opalinuston aufweisen gelten die unter 3.1.1.1 gemachten Aussagen. Die durch Sandsteinlagen und Kalkbänke bedingte Heterogenität könnte einen zusätzlichen Einfluss auf die Auflockerungszone im First haben.

#### 3.1.2.2 Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.2.4 NTB 08-04]

*Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.2.4 NTB 08-04 Seite 150]:*

Die bautechnische Machbarkeit für HAA-Lagerstollen ist aufgrund gleicher bis höherer Gesteinsfestigkeit als beim Opalinuston gegeben. Für die SMA-Kavernen sind in Bereichen mit grösseren Auflockerungszonen, bedingt durch Heterogenitäten, die Sicherungsmassnahmen an die Erfordernisse anzupassen. Die bautechnische Machbarkeit ist, auch auf Grund der Gesteinseigenschaften, gewährleistet.

### **3.1.3 Effinger Schichten [Kap. 4.3.3 NTB 08-04]**

#### 3.1.3.1 Lagerbedingte Einflüsse [Kap. 4.3.3.3 NTB 08-04]

*Auflockerungszone und deren Selbstabdichtung [Kap. 4.3.3.3 NTB 08-04 Seite 167]:*

Die gegenüber dem Opalinuston grösseren Gesteinsfestigkeiten werden auch zu kleineren Auflockerungszonen führen. Wechsellagerungen von Kalk und Mergel könnten lokal (z. B. im Firstbereich) zu grösseren Auflockerungen oder Abplatzungen führen.

#### 3.1.3.2 Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.3.4 NTB 08-04]

*Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.3.4 NTB 08-04 Seite 169-170]:*

Für die Effinger Schichten stehen praktische Erfahrungen aus diversen Tunnelbauten der Vergangenheit zur Verfügung. Die Gesteinsfestigkeiten und Steifigkeiten sind in der Regel deutlich höher als im Opalinuston. Bautechnisch günstiger sind auch die geringeren Quelldrücke zu werten.

Für die SMA-Kavernen sind in Bereichen mit grösseren Auflockerungen, bedingt durch Heterogenitäten, die Sicherungsmassnahmen an die Erfordernisse anzupassen. Die bautechnische Machbarkeit ist, auch auf Grund der Gesteinseigenschaften, gewährleistet.

### **3.1.4 Mergel-Formationen des Helvetikums [Kap. 4.3.4 NTB 08-04]**

#### 3.1.4.1 Lagerbedingte Einflüsse [Kap. 4.3.4.3 NTB 08-04]

*Auflockerungszone und deren Selbstabdichtung [Kap. 4.3.4.3 NTB 08-04 Seite 183]:*

Die gegenüber dem Opalinuston grösseren Gesteinsfestigkeiten werden auch zu kleineren Auflockerungszonen führen. Für die Platzierung eines Lagers ist die Ausrichtung des Spannungsfeldes und die Anisotropie der Mergelformationen zu beachten.

#### 3.1.4.2 Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.4.4 NTB 08-04]

Bautechnische Eigenschaften [Kap. 4.3.4.4 NTB 08-04 Seite 185-186]

Bautechnische Erfahrungen liegen vor allem aus den Projekten Seelisberg und Lötschberg-Basistunnel vor. Bedingt durch wesentlich höhere Gesteinsfestigkeiten und Verformungswerte werden, verglichen mit Bauten in Opalinuston, geringere Sicherungsmassnahmen erforderlich sein und gleichzeitig kleinere Verformungen (Auflockerung) auftreten.

### **3.2 Charakterisierung der bevorzugten Wirtgesteine für das SMA-Lager [NTB 08-03 Kap. 4.4]**

Beurteilung der Gesteinseinheiten bzw. Gesteinsabfolgen bezüglich der bautechnischen Machbarkeit hinsichtlich der Kriterien 2.3 lagerbedingte Einflüsse / 3.1 Charakterisierung der Gesteine / 4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen:

#### **3.2.1 Opalinuston mit seinen Rahmengesteinen [NTB 08-03 Kap. 4.4.1]**

Das Selbstabdichtungsvermögen des Opalinustons begünstigt, wie angeführt, das Verhalten der Auflockerungszone. Andererseits sind, bedingt durch das Quellverhalten des Gesteines (ausgelöst durch geringe, auch bei einer bei vorsichtigen Bauweise kaum vermeidbare, Wassereinträge), für die Stollen und Lagerkavernen, welche über eine bestimmte Zeit bestehen bleiben, massivere Hohlräumeicherungen und Sohlgewölbe erforderlich.

Erfahrungen über Tunnelbau in den Schichten des Opalinuston bestehen mit dem Bau diverser Bahn- und Strassentunnel. Speziell zu betrachten sind aber die grossen Kavernentypen für die SMA-Lager, die in der Regel wesentlich grössere Querschnitte als die bestehenden Verkehrstunnel aufweisen. Neben der einachsigen Druckfestigkeit, die zur Beurteilung der Machbarkeit herangezogen wird, müsste insbesondere für die Beurteilung der Sicherungsmassnahmen und der Verformungen bei den Kavernen auch der E- Modul beachtet werden.

#### **3.2.2 Tonsteinabfolge „Brauner Dogger“ und ihre Rahmengesteine [NTB 08-03 Kap. 4.4.2]**

Die Schichten „Brauner Dogger“ weisen gegenüber dem Opalinuston grössere Festigkeiten auf, was positive Effekte bezüglich Sicherungsmassnahmen und Tiefenlage bringt. Andererseits kann die vorhandene Heterogenität aufgrund der Trennflächen zu grösseren Auflockerungszonen führen, die aber bautechnisch beherrschbar sind. Ein nachträgliches Ausräumen der Auflockerungszonen, wie es im Bericht angeführt wird, führt in der Regel zu neuen Auflockerungszonen.

Wie erwähnt wird, ist die Datenbasis über den „Braunen Dogger“ zurzeit relativ knapp, was eine abgestützte Aussage über die Gesteinseigenschaften erschwert. Weiter sind keine bestehenden Untertagbauten und keine felsmechanischen Laborversuche bekannt.

Eine Reduktion der maximalen Tiefenlage der Lagerkammern auf 800 m u.T. bzw. 700 m u.T. ist auf Grund der fehlenden Daten und bautechnischen Erfahrungen, sowie möglicher tektonischer Überprägungen zweckmässig.

#### **3.2.3 Effinger Schichten [NTB 08-03 Kap. 4.4.3]**

Die Effinger Schichten weisen generell gegenüber dem Opalinuston bessere Gesteinskennwerte auf. Diverse Tunnelbauten mit Überlagerungen bis 600 m u.T., die in den Effingerschichten gebaut wurden, zeigen die bautechnische Machbarkeit auf (z. B. Grenchenbergtunnel). Die einachsigen Druckfestigkeiten liegen in der Regel über denjenigen des Opalinustons. Die vorhandenen felsmechanischen Daten weisen aber eine grosse Heterogenität und Bandbreite auf.

### 3.2.4 Mergel-Formationen des Helvetikums [NTB 08-03 Kap. 4.4.4]

Die bautechnische Eignung der Palfris-Formationen wurden im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für ein SMA-Lager im Rahmen des Projektes Wellenberg untersucht (NTB 08-03, S. 158, NTB 08-04, S. 185).

Bautechnische Erfahrungen aus Tunnelbauten mit Überdeckungen bis zu 800 m liegen ebenfalls vor (Seelisberg, Lötschberg-Basistunnel).

### 3.3 Charakterisierung der bevorzugten Wirtgesteine für das HAA-Lager (Opalinuston) [NTB 08-03 Kap. 4.3 / 4.5]

Aus bautechnischer Sicht dürften sich für die Erstellung und die Verschliessung der HAA-Lagerstollen keine grossen Probleme ergeben. Der Opalinuston ist wegen seiner Homogenität mit einer kleinen Tunnelbohrmaschine gut auffahrbar. Eine Sicherung nur mit Stahlelementen (Felsanker/Netze, und nur „begrenzten Mengen“ an zementhaltigen Materialien (NTB 08-05 Seite A1-6)), wie sie aufgrund der Anforderungen an die Langzeitstabilität vorgegeben ist, wird bei einem Ausbruchdurchmesser von 2.50 m bis zu Tiefen von rund 650 m u.T. realisierbar sein. Mit zunehmender Überlagerung vergrössern sich aber die Auflockerungszonen um den Hohlraum herum. Dadurch wird sich auch der Aufwand für die Sicherung (längere und grössere Anzahl Anker, stärkere, vollflächige Stahlmatten, Spritzbetonschicht) wesentlich erhöhen.

[In einem später nachgereichten Arbeitsbericht NAB 09-07 geht die Nagra auch von, gegenüber den ursprünglich angenommenen Sicherungsmittel, ergänzten Möglichkeiten für die Hohlraumsicherung aus. Als alternative Ausbaukonzepte werden unter anderem Systemankerungen, bewehrte Spritzbetonschalen und Stahlträger erwähnt]

Zu beachten ist die starke Empfindlichkeit des Opalinustons auf Wasser. Ein geringer Wassereintrag oder bereits eine erhöhte Luftfeuchtigkeit führt zu einer Entfestigung des Gesteins. Die Baumethode ist so auszulegen, dass kein, oder wo erforderlich, nur ein geringer temporär beschränkter Wasserkontakt mit der Felsoberfläche erfolgt.

Ein hoher Quarzgehalt im Opalinuston erfordert aus arbeitshygienischen Bedingungen (SUVA-Vorschriften) eine entsprechende Bewetterung der Vortriebsstellen bzw. entsprechende Schutzmassnahmen für die Baubelegschaft. Voraussichtlich ist die Luft aus dem Abbaubereich der TBM, bzw. aus der Umgebung einer Teilschnittfräse konzentriert abzusaugen und über einen Staubfilter zu leiten. [Erfahrung aus diversen Tunnelprojekten (Adler, Bözberg, Wiesenberg, Belchen) weisen teilweise auf einen hohen Quarzgehalt im Opalinuston hin. Dieser Aspekt ist in den nachfolgenden Etappen weiter zu untersuchen]

Das Selbstabdichtungsvermögen des Opalinustons begünstigt, wie angeführt, das Verhalten der Auflockerungszone (NTB 08-03, S. 143).

Bautechnische Erfahrungen über Tunnelbau in den Schichten des Opalinuston bestehen mit der Realisierung diverser Bahn- und Strassentunnel. Gegenüber den ausgeführten Bauwerken weisen die Lagerstollen des HAA-Lagers wesentlich kleinere Abmessungen und eine statisch günstigere Querschnittsform (Kreis) auf. Neben der einachsigen Druckfestigkeit, die zur Beurteilung der Machbarkeit herangezogen wird, müsste, insbesondere für die Beurteilung der Sicherungsmassnahmen (keine Betonelemente zulässig) und der Verformungen, bei den Stollen auch der E- Modul beachtet werden.

Eine Reduktion der maximalen Tiefenlage der Lagerkammern auf 900 m u.T. bzw. 800 m u.T. für die östliche Subjurasische Zone ist aber bei tektonischer Überprägung aus bautechnischen Gründen zweckmässig.

### **3.4 Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine für das SMA-Lager [NTB 08-03 Kap. 4.6.1]**

#### **3.4.1 Opalinuston**

Die Beurteilung des Indikators 'Auflockerungszonen im Nahbereich der Untertagebauten' kann auf Grund des quellenden Verhaltens, wie seitens Nagra angeführt für den Opalinuston als „günstig“ bezeichnet werden (NTB 08-03, Kap. 4.6, S. 162, und S. 163).

Bedingt durch die vorliegenden Druckfestigkeiten und Verformungseigenschaften ist der Opalinuston, insbesondere bei grossen Kavernenquerschnitten und grossen Überlagerungen, aus bautechnischer Sicht nicht das „optimalste“ Gestein.

Eine Bewertung bezüglich Sicherheit und Machbarkeit mit knapp „günstig“ ist aus unserer Sicht zweckmässig.

#### **3.4.2 Tonsteinabfolge „Brauner Dogger“**

Die Beurteilung des Indikators 'Auflockerungszonen im Nahbereich der Untertagebauten' kann auf Grund des quellenden Verhaltens, wie angeführt für den Braunen Dogger ebenfalls als „günstig“ bezeichnet werden (NTB 08-03, Kap. 4.6.1.2, S. 165).

Die Beurteilung des Kriteriums „Felsmechanische Eigenschaften“ für den „Braunen Dogger“ mit den gegenüber dem Opalinuston leicht höheren Druckfestigkeiten, aber mit einer grösseren Heterogenität, als „günstig“ ist angemessen.

#### **3.4.3 Effinger Schichten**

Die Beurteilung des Indikators 'Auflockerungszonen im Nahbereich der Untertagebauten' kann auf Grund des quellenden Verhaltens, wie angeführt für die Effinger Schichten ebenfalls als „günstig“ bezeichnet werden (NTB 08-03, S. 168).

Auf Grund der deutlich höheren Druckfestigkeiten der Effinger Schichten, verglichen mit dem Opalinuston, ist die Beurteilung des Indikators 'Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften' mit „günstig bis sehr günstig“ zweckmässig.

#### **3.4.4 Mergel-Formationen des Helvetikums**

Die gegenüber dem Opalinuston unterschiedliche Beurteilung für den Indikator 'Verhalten des Wirtgesteins bezüglich Gas', ist nicht nachvollziehbar.

Auf Grund der deutlich höheren Druckfestigkeiten der Palfris-Mergel, verglichen mit dem Opalinuston, ist die Beurteilung des Indikators 'Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften' mit „günstig bis sehr günstig“ zweckmässig (NTB 08-03, Seite 171).

### **3.5 Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine für das HAA-Lager [NTB 08-03 Kap. 4.6.2]**

Opalinuston [NTB 08-03 Kap. 4.6.2.1]

Auf Grund des ausgeprägten Selbstabdichtungsverhaltens des Opalinustons und der durch die kleinen Querschnittsabmessungen geringen Verformungen, ist eine Beurteilung des Indikators 'Auflockerungszone' mit „günstig bis sehr günstig“ angebracht.

Unter Berücksichtigung der gegenüber den SMA-Lagern geringeren Dimensionen, sowie einer Beschränkung der möglichen Sicherungsmittel (ohne Verwendung von Beton), ist eine Beurteilung des Indikators 'Gesteinsfestigkeiten und Verformungen' als knapp „günstig“ angebracht.

### **3.6 Zusammenfassung der Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine für das SMA-Lager [Kap. 4.7.1 NTB 08-03]**

- Tabelle 4.7-1: Ergebnisse der Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine für das SMA-Lager auf den Hierarchiestufen der Kriterien und Kriteriengruppen

Die in der Tabelle 4.7-1 (NTB 08-03, Seite 176) zusammengestellten Ergebnisse sind bezüglich den bautechnischen Aspekte in Ordnung.

Die felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen wurden in der detaillierten Auflistung ( Kap. 4.6.1, NTB 08-03) für den Opalinuston als knapp „günstig“ bewertet.

### **3.7 Zusammenfassung der Bewertung der bevorzugten Wirtgesteine für das HAA-Lager [Kap. 4.7.2 NTB 08-03]**

- Tabelle 4.7-2: Ergebnisse der Bewertung des bevorzugten Wirtgesteins für das HAA-Lager auf den Hierarchiestufen der Kriterien und Kriteriengruppen

Die in der Tabelle 4.7-2 (NTB 08-03, Seite 179) zusammengestellten Ergebnisse sind bezüglich bautechnischer Aspekte in Ordnung.

Die felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen wurden in der detaillierten Auflistung (Kap. 4.6.2, NTB 08-03) als knapp „günstig“ bewertet.

## 4 Beurteilung der bautechnischen Bewertung der vorgeschlagenen geologischen Standortgebiete

---

### 4.1 Bevorzugte Bereiche für das SMA-Lager [Kap. 5.2 NTB 08-03]

In diesen Kapiteln wird auf die Beurteilung der Nagra für die Standortgebiete und die bevorzugten Bereiche der SMA-Lager eingegangen.

#### 4.1.1 Konfiguration mit Opalinuston, Tonsteinabfolge „Brauner Dogger“ und Effinger Schichten für das SMA-Lager [Kap. 5.2.1 bis 5.2.3 NTB 08-03]

Konfiguration mit Opalinuston für das SMA-Lager [Kap. 5.2.1 NTB 08-03]

Konfiguration mit der Tonsteinabfolge „Brauner Dogger“ für das SMA-Lager [Kap. 5.2.2 NTB 08-03]

Konfiguration mit Effinger Schichten für das SMA-Lager [Kap. 5.2.3 NTB 08-03]

Die Darstellung der Einengungsprozesse über die Verbreitung des Opalinustons / Tonsteinabfolge „Brauner Dogger“ und Effinger Schichten mit flacher Lagerung in der erforderlichen Tiefenlage in einzelnen Schritten, ist zweckmässig. Die detaillierte Analyse des Platzangebotes bezüglich kritischer geologischer Elemente wie Störzonen und tektonischer Zergliederung, die zu einer massgebenden Einschränkung führt, ist aus Sicht der Bautechnik zweckmässig.

#### 4.1.2 Konfiguration mit Mergel-Formationen des Helvetikums für das SMA-Lager [Kap. 5.2.4 NTB 08-03]

Aufgrund der lokalen Verbreitung ist ein Einengungsprozess für diese Formationen nicht angebracht. Da nur beim Standort Wellenberg die Mindestanforderungen und die verschärften Anforderungen erfüllt sind, ist eine Beschränkung auf diese Vorkommen zweckmässig.

### 4.2 Bevorzugte Bereiche für das HAA-Lager [Kap. 5.3 NTB 08-03]

Konfiguration mit Opalinuston für das HAA-Lager [Kap. 5.3.1 NTB 08-03]

Die Darstellung des Einengungsprozesses über die Verbreitung des Opalinustons mit flacher Lagerung in der erforderlichen Tiefenlage in einzelnen Schritten, ist zweckmässig. Die detaillierte Analyse des Platzangebotes bezüglich kritischer geologischer Elemente, wie Störzonen und tektonischer Zergliederung, die zu einer massgebenden Einschränkung führt, ist aus Sicht Bautechnik zweckmässig.

### 4.3 Charakterisierung und Bewertung der bevorzugten Bereiche für das SMA-Lager [Kap. 5.4 NTB 08-03]

Die Beurteilung der bevorzugten Bereiche für das SMA-Lager erfolgt für die bautechnische Eignung aufgrund der nachfolgend aufgeführten Kriterien:

- Kriterium 1.1 Räumliche Ausdehnung
- Kriterium 2.3 Lagerbedingte Einflüsse
- Kriterium 3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine
- Kriterium 4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen
- Kriterium 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung



#### **4.3.1 SMA-Bereich mit Opalinuston im Tafeljura Nord (SMA-OPA-TJ-N) [Kap. 5.4.2 NTB 08-03]**

Die Lagerebene liegt mit einer Tiefe von 300 bis 470 m u.T. bezüglich der Beurteilung der Bautechnik günstig, was richtigerweise zusammen mit den Gesteinseigenschaften des Opalinustons für die SMA-Lager zu einer günstigen Gesamtbeurteilung der „Felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen“ führt.

Eine Erschliessung der Lagerebene ohne Durchörterung der Malmkalke, die zum Teil ein erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen, ist mit einem Schrägstollen möglich. Für die Herstellung der Schächte, die im Lagerbereich platziert sind, müssen die Malmkalke aber durchörtert werden. Die Beurteilung des Kriteriums 4.2 mit „sehr günstig“ ist angebracht.

#### **4.3.2 SMA-Bereich mit Opalinuston im Tafeljura Süd (SMA-OPA-TJ-S) [Kap. 5.4.3 NTB 08-03]**

Die Lagerebene liegt mit einer Tiefe von weniger als 600 m u.T. bezüglich der Beurteilung der Bautechnik günstig, was zusammen mit den Gesteinseigenschaften des Opalinustons, insbesondere für die nördlichen Abschnitte zu einer „günstigen“ Gesamtbeurteilung der „Felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen“ führt.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen. Auch mit diesen möglichen Erschwernissen für die Erschliessung, die technisch beherrschbar sind, ist die Gesamtbewertung der bautechnischen Eignung mit „günstig“ angebracht.

#### **4.3.3 SMA-Bereich mit der Tonsteinabfolge „Brauner Dogger“ im Tafeljura (SMA-BD-TJ) [Kap. 5.4.4 NTB 08-03]**

Die Obergrenzen liegen für den Braunen Dogger zwischen 350 und 700 m u.T. Insgesamt befinden sich zwei Drittel der ausgeschiedenen Fläche im Bereich von weniger als 600 m u.T. Eine Gesamtbeurteilung der „Felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen“ mit „günstig“ ist richtig.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen.

Auch mit diesen möglichen Erschwernissen für die Erschliessung, die technisch beherrschbar sind, ist die Gesamtbewertung der Kriteriengruppe „Bautechnische Eignung“ mit „günstig“ angebracht.

#### **4.3.4 SMA-Bereich mit Opalinuston in der Vorfaltenzone Ost (SMA-OPA-VZ-O) [Kap. 5.4.5 NTB 08-03]**

Die Opalinustonschichten der Vorfaltenzone Ost liegen zu einem grossen Teil in Tiefen von mehr als 600 m u.T. Unter Berücksichtigung der Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften, ist die Bewertung „bedingt günstig“ gerechtfertigt.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen. Auch mit diesen möglichen Erschwernissen für die Erschliessung, die technisch beherrschbar sind, ist die Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „günstig“ angebracht.

Die daraus folgende Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnische Eignung“ ist darum, wie angeführt, „bedingt günstig“.

#### **4.3.5 SMA-Bereich mit der Tonsteinabfolge „Brauner Dogger“ in der Vorfaltenzone Ost (SMA-BD-VZ-O) [Kap. 5.4.6 NTB 08-03]**

Ein grosser Teil der Tonsteinabfolgen „Brauner Dogger“ befinden sich in Tiefen von mehr als 600 m u.T. Unter Berücksichtigung der Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften, ist die Bewertung mit „bedingt günstig“ gerechtfertigt.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen. Auch mit diesen möglichen Erschwernissen für die Erschliessung, die technisch beherrschbar sind, ist die Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „günstig“ angebracht.

Die daraus folgende Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnischen Eignung“ ist darum, wie angeführt, „bedingt günstig“.

#### **4.3.6 SMA-Bereich mit der Tonsteinabfolge „Brauner Dogger“ in der Vorfaltenzone West (SMA-BD-VZ-W) [Kap. 5.4.7 NTB 08-03]**

Die Beschreibungen der Tiefenlage der Tonsteinabfolgen „Brauner Dogger“ sind widersprüchlich. Unter A) werden Tiefenlagen von 550 – 725 m u.T. erwähnt und unter D) werden geringere Tiefen von nur 300 bis 600 m u.T. aufgeführt, die eine Beurteilung von „günstig“ zulassen würden. Dies ist ebenfalls in unserer im Kapitel 4.5 überprüften Beurteilung ersichtlich. Gemäss NAB 09-29 liegt im Bericht NTB 08-03 S. 266 ein Druckfehler vor. Hier sollte stehen : „Tiefenlage von mehr als 600 m u.T“. Unter Berücksichtigung der Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften, ist die Bewertung mit „bedingt günstig“ angebracht.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen. Auch mit diesen möglichen Erschwernissen für die Erschliessung, die aber technisch beherrschbar sind, ist die Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „günstig“ angebracht.

Die Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnische Eigenschaften“ liegt somit, bei „bedingt günstig“.

#### **4.3.7 SMA-Bereich mit Opalinuston in der Vorfaltenzone West (SMA-OPA-VZ-W) [Kap. 5.4.8 NTB 08-03]**

Die Lagerebene liegt zu einem grossen Teil in Tiefen von weniger als 600 m u.T., was bezüglich der Beurteilung der Bautechnik „günstig“ ist. Zusammen mit den Gesteinseigenschaften des Opalinustons, führt dies zu einer „günstigen“ Gesamtbeurteilung der „Felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen“.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen. Mit den beiden Möglichkeiten einer Erschliessung vom Fricktal bzw. vom Aaretal her, ohne Durchörterung der Malmkalke, ergibt sich eine Bewertung von „sehr günstig“ für die „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“.

Die daraus folgende Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnischen Eignung“ ist darum, wie angeführt, „günstig“.

#### **4.3.8 SMA-Bereich mit Opalinuston in der Subjurassischen Zone Ost (SMA-OPA-SJ-O) [Kap. 5.4.9 NTB 08-03]**

Die Schichten des Opalinustons befinden sich in diesem Gebiet zu einem grossen Teil in Tiefen von mehr als 500 m u.T. Nur ca. ein Drittel des Gebietes weist Tiefen von weniger als 500 m u.T. auf. Eine Beurteilung der „Felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen“ mit „bedingt günstig“, ist angebracht.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereintruchrisiko aufweisen. Auch mit einer Erschliessung vom Suhren- oder Aaretal her, die keine Durchörterung der Malmkalke erfordern, ist mit Erschwernissen bezüglich Wasserhaltung zu rechnen. Die Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „bedingt günstig“ bis „günstig“ ist angebracht.

Die daraus folgende Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnischen Eignung“ ist darum, wie angeführt, „bedingt günstig“.

#### **4.3.9 SMA-Bereich mit Effinger Schichten in der Subjurassischen Zone Ost (SMA-EFF-SJ-O) [Kap. 5.4.10 NTB 08-03]**

Die Effinger Schichten befinden sich in Tiefen von 450 bis 800 m u.T., können aber bedingt durch die guten Gesteinseigenschaften als günstig eingestuft werden. Unter Berücksichtigung der erhöhten tektonischen Überprägung, ergibt sich für das Kriterium „Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen“ eine „bedingt günstige“ Beurteilung.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereintruchrisiko aufweisen. Eine Erschliessung vom Suhre- und vom Aaretal, ohne bzw. nur geringmächtiger Durchörterung der Malmkalke, ist möglich, führt aber zu relativ langen Zugangsstollen. Mit diesen möglichen Erschwernissen für die Erschliessung, ist die Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „bedingt günstig“ angebracht.

Die daraus folgende Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnischen Eignung“ ist darum, wie angeführt, „bedingt günstig“.

#### **4.3.10 SMA-Bereich mit Opalinuston in der Subjurassischen Zone West (SMA-OPA-SJ-W) [Kap. 5.4.11 NTB 08-03]**

Die Opalinustonschichten der Vorfaltenzone West liegen zu einem grossen Teil in Tiefen von mehr als 500 m u.T. Unter Berücksichtigung der Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften ist die Bewertung mit „bedingt günstig“ gerechtfertigt.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereintruchrisiko aufweisen. Eine Erschliessung aus dem Tal der Dünnern ist möglich, kann aber Erschwernisse bezüglich Grundwasservorkommen in den Quartärschichten bieten. Die Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „bedingt günstig“ bis „günstig“ ist angebracht.

Daraus ergibt sich eine Gesamtbewertung der Kriteriengruppe „Bautechnischen Eignung“ für diese Opalinustonzone mit „bedingt günstig“.

#### **4.3.11 SMA-Bereich mit Effinger Schichten in der Subjurassischen Zone West (SMA-EFF-SJ-W) [Kap. 5.4.12 NTB 08-03]**

Die Effinger Schichten befinden sich in Tiefen von 450 bis 800 m u.T., können aber bedingt durch die guten Gesteinseigenschaften als günstig eingestuft werden. Unter Berücksichti-

gung der erhöhten tektonischen Überprägung ergibt sich für das Kriterium „Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen“ eine „bedingt günstige“ Beurteilung.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen. Eine Erschliessung vom Aare- oder Wiggertal bedingt eine Durchquerung von Quartärschichten mit Grundwasservorkommen. Mit diesen möglichen Erschwernissen für die Erschliessung, ist die Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „bedingt günstig“ angebracht.

Die daraus folgende Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnischen Eignung“ ist darum, wie angeführt, „bedingt günstig“.

#### **4.3.12 SMA-Bereich mit Mergel-Formationen im Helvetikum (SMA-MG-HEL) [Kap. 5.4.13 NTB 08-03]**

Mit der vorhandenen Tiefenlage der Mergel-Formationen des Helvetikums und den angenommenen felsmechanischen Eigenschaften der Gesteine, ist eine Beurteilung der „Felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen“ mit „günstig“ angebracht.

Mit einer Umgehung der prognostizierten Rutschmasse und den allgemein als gering eingeschätzten Gaszufuhr, kann das Kriterium „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „günstig“ bis „sehr günstig“ bewertet werden.

Die daraus folgende Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnischen Eignung“ ist darum, wie angeführt, „günstig“.

### **4.4 Charakterisierung und Bewertung der bevorzugten Bereiche für ein HAA-Lager [Kap. 5.5 NTB 08-03]**

Die Beurteilung der bevorzugten Bereiche für das HAA-Lager erfolgt für die bautechnische Eignung aufgrund der gleichen Kriterien wie unter Kapitel 4.3:

#### **4.4.1 HAA-Bereich mit Opalinuston im Tafeljura (HAA-OPA-TJ) [Kap. 5.5.2 NTB 08-03]**

Die Schichten des Opalinustons befinden sich in diesem Gebiet zu einem grossen Teil in Tiefen von mehr als 600 m u.T. Nur ca. ein Viertel des Gebietes weist Tiefen von weniger als 600 m u.T. auf. Eine Beurteilung der „Felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen“ mit „bedingt günstig“, ist angebracht.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen. Auch mit diesen möglichen Erschwernissen für die Erschliessung, die technisch beherrschbar sind, ist eine Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „günstig“ angebracht.

Die daraus folgende Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnische Eignung“, für den Opalinuston ist darum, wie angeführt, „günstig“.

#### **4.4.2 HAA-Bereich mit Opalinuston in der Vorfaltenzone Ost (HAA-OPA-VZ-O) [Kap. 5.5.3 NTB 08-03]**

Die Schichten des Opalinustons befinden sich in diesem Gebiet zu einem grossen Teil in Tiefen von mehr als 600 m u.T. Eine Beurteilung der „Felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen“ mit „bedingt günstig“ ist darum hier angebracht.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind (Hinweis auf Methan und H<sub>2</sub>S aus vorhandener Bohrung, NTB, 08-03, S. 312) und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen. Mit diesen möglichen Erschwernissen für die Erschliessung ist die Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „bedingt günstig“ bis „günstig“ angebracht.

Daraus folgend ist die Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnische Eignung“ für den Opalinuston hier „bedingt günstig“.

#### **4.4.3 HAA-Bereich mit Opalinuston in der Vorfaltenzone Mitte (HAA-OPA-VZ-M) [Kap. 5.5.4 NTB 08-03]**

Die Schichten des Opalinustons befinden sich in diesem Gebiet zu einem grossen Teil in Tiefen von mehr als 600 m u.T. Eine Beurteilung der „Felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen“ mit „bedingt günstig“ ist darum hier angebracht.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind (Hinweis auf Methan und H<sub>2</sub>S aus vorhandener Bohrung) und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen. Mit diesen möglichen Erschwernissen für die Erschliessung, ist die Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ aus unserer Sicht „bedingt günstig“ bis „günstig“.

Daraus folgend ist die Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnische Eignung“ für den Opalinuston hier „bedingt günstig“.

#### **4.4.4 HAA-Bereich mit Opalinuston in der Vorfaltenzone West (HAA-OPA-VZ-W) [Kap. 5.5.5 NTB 08-03]**

Die Schichten des Opalinustons befinden sich in diesem Gebiet zu einem grossen Teil in Tiefen von weniger als 600 m u.T. Zusammen mit dem Indikator 'Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften', ergibt sich bei der Nagra eine Beurteilung der „Felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen“ mit „bedingt günstig“. Aus unserer Sicht wäre hier auch eine Beurteilung mit „bedingt günstig“ bis „günstig“ angebracht.

Die Erschliessung der Lagerebene führt durch die USM, mit unterschiedlicher Mächtigkeit, wo Gasvorkommen möglich sind und durch die Malmkalke, die ein generell erhöhtes Karst- und Wassereinbruchrisiko aufweisen. Mit einer Erschliessung vom Aare- oder Fricktal, kann die Durchörterung der Malmkalke vermieden werden. Die Bewertung der „Untertägigen Erschliessung und Wasserhaltung“ mit „sehr günstig“ ist dadurch angebracht.

Daraus folgend ist die Gesamtbeurteilung der Kriteriengruppe „Bautechnische Eignung“, für den Opalinuston der Vorfaltenzone West mit „günstig“ angebracht.

### **4.5 Zusammenstellung der Bewertung der geologischen Standortgebiete für das SMA- und HAA- Lager [Kap. 5.8, Anhang C.4 NTB 08-03]**

Die Bewertung der geologischen Standortgebiete für das SMA- und HAA-Lager wird im Anhang C (NTB 08-03) beschrieben. Für die Kriteriengruppe 4 'Bautechnische Eignung' sind die verwendeten Indikatoren durch die Nagra bewertet worden. Für die Kriterien 4.1, „Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen“ und 4.2, „Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung“, sind in die bevorzugten Wirtgesteine hinsichtlich ihrer Bewertung der Nagra durch den Experten kontrolliert worden. Dabei wurden die Indikatoren bezogen auf die Mindestanforderungen (MA) und verschärften Anforderungen (VA) überprüft.

Die korrekte Umsetzung der in Tabelle 2.5.2 beschriebenen MA, VA und BS, wurden für die Indikatoren **'Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften'**, **'Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit'**, **'Geotechnische und hydrologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen'** und **'Natürliche Gasführung (im Wirtgestein)'** überprüft:

Gemäss SGT Etappe 1 Anhang I, sind in den Tabellen A1-12 und A1-13 die Kriterien 4.1 und 4.2 bzw. die zu beurteilenden Aspekte und die Relevanz für die Machbarkeit aufgeführt. Des Weiteren sind im Kapitel 1.1 des SGT Anhang I die Auswahlsschritte für die potenziellen Standortgebiete aufgelistet. In Tabelle A1-14 sind die Schritte 4 und 5 für die Beurteilung der Bautechnischen Eignung dargelegt. Die Umsetzung im Bericht NTB 08-03 Anhang C.4 mit der Bewertung der bevorzugten Bereiche für das SMA- und das HAA-Lager der oben genannten Indikatoren ist gemäss unserer Überprüfung in Ordnung. Einzig beim Standortgebiet SMA-BD-VZ-W kann die Bewertung nicht nachvollzogen werden. Gemäss NAB 09-29 liegt im Bericht NTB 08-03 S. 266 ein Druckfehler vor. Hier sollte stehen: „Tiefenlage von mehr als 600 m u.T“. Damit ist die Beurteilung der Nagra aus Sicht der Bautechnik korrekt.

Die Bewertung der Nagra erfolgt über die arithmetische Mittelwertbildung der verwendeten Indikatoren pro Kriterium. Eine Rundung der Bewertung erfolgt immer nach oben und bereits auf dem Mittel der Teilsumme pro Kriterium. Die Mittelwertbildung der Bewertung pro Kriteriengruppe erfolgt anschliessend auf den bereits gerundeten Mittelwerten der Kriterien 4.1 und 4.2 für die bautechnische Eignung. Dadurch ergeben sich Differenzen gegenüber einer Mittelwertbildung mit Rundung am Schluss der Gesamtbewertung der bautechnischen Eignung von bis zu 0.075 Bewertungspunkten bzw. durch die konsequente Aufrundung sind Differenzen in der Bewertung von bis zu 0.1 möglich.

## 5 Zusammenfassende Beurteilung

Die vorliegende Beurteilung der Dokumente der Nagra hinsichtlich der bautechnischen Machbarkeit der Tiefenlager HAA- bzw. SMA-Lager SGT Etappe 1 betrifft folgende wesentlichen Indikatoren / Kriterien:

- Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit (Kriterium 1.1 / 4.1)
- Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften (Kriterium 4.1)
- Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen (Kriterium 4.2)
- Natürliche Gasführung im Wirtgestein und den überlagernden Schichten (Kriterium 4.2)

Der Experte ist mit den Ausführungen der Nagra einverstanden. Anregungen und Differenzen bestehen bei den nachfolgend aufgelisteten Punkten:

- **Grosse Querschnitte für SMA-Lager nicht berücksichtigen:** Die vorgesehenen Lagerkavernen für die SMA-Lager K12 bis K20 weisen Abmessungen auf, die in den geologischen Formationen (insbesondere Opalinuston) voraussichtlich nur mit unverhältnismässig grossem Sicherheitsaufwand zu realisieren sind.
- **SMA-Lagerkavernen  $\leq$  K09 sind auf Grund des heutigen Kenntnisstandes zweckmässig.** In den nachfolgenden Phasen / Etappen sind allfällig grössere Kavernenquerschnitte zu überprüfen. Wir schlagen jedoch aus vorliegender Beurteilung vor, nur SMA-Lagerkavernen bis zur Grösse K09 zu berücksichtigen, dies aufgrund der heutigen vorliegenden Untersuchungstiefe (Parameter, Kennwerte des Gesteins).
- **HAA-Lagerstollen :** Zur Verminderung von Auflockerungen im umliegenden Gestein werden in grösseren Tiefenlagen die, erst im Bericht NAB 09-07 aufgeführten, alternativen Ausbaukonzepte angewendet werden müssen.
- **Verminderung der Auflockerungszonen:** Ein zentraler Punkt zur Verminderung der Auflockerungszonen ist eine ausreichend bemessene Hohlraumsicherung und der rechtzeitige Einbau der Stützmassnahmen, insbesondere ein schneller Ringschluss.
- **Gasstufe 2 SUVA-Vorschriften kritisch, Bewertungsskala „bedingt günstig“:** Die Gasstufe 2 (Ausgasungen während langer Zeit) kann nach unserer Einschätzung schon zu erheblichen betrieblichen Behinderungen führen, da sich das Lager auf Grund der diversen verästelten Stollensystemen evtl. nur mit grösserem Aufwand lüften und kontrollieren lässt.
- **E-Modul Verformungseigenschaften nicht bewertet:** Neben der einachsigen Druckfestigkeit, die zur Beurteilung der Machbarkeit herangezogen wurde, muss aus unserer Sicht insbesondere für die Beurteilung der Sicherungsmassnahmen und der Verformungen bei den Kavernen auch der E-Modul beachtet werden.

**Die bautechnische Machbarkeit für HAA-Lagerstollen und SMA-Lagerkavernen mit ihren Erschliessungsbauwerken kann mit dem heute vorhandenen Wissenstand stufengerecht beurteilt werden. Im Zuge der immer konkreter werdenden Planung sind fehlende Detailkenntnisse nachzuerheben, insbesondere für das noch wenig untersuchte Wirtgestein Tonsteinabfolge „Brauner Dogger“.**

---

**Literaturverzeichnis**


---

**Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK:**

SGT Sachplan geologische Tiefenlager [2. April 2008]

**Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI:**

HSK 35/97 Expertenbericht Beurteilung der bautechnischen Machbarkeit eines geologischen Tiefenlagers für BE/HAA und LMA und der durch das Lager induzierten Prozesse (Emch+Berger AG Bern)

**Bericht Nagra:**

NTB 08-03 Technischer Bericht Nagra: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse [Oktober 2008] Hauptbericht

NTB 08-04 Technischer Bericht Nagra: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Geologische Grundlagen Textband / Beilagenband [Oktober 2008]

NTB 08-05 Technischer Bericht Nagra: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie. Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit [Oktober 2008]

NIB Interner Bericht Nagra: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Grundlagen und Umsetzung der Indikatoren „Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ sowie „Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften“ (Bericht zu Behördenanfrage) [März 2009]

NIB Interner Bericht Nagra: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Interne Arbeitsnotizen zu den Grundlagen und zur Umsetzung des Indikators „Platzangebot untertags“ (Bericht zu Behördenanfrage) [März 2009]

NAB 08-45 Arbeitsbericht Nagra: Comparative rock-mechanical modeling of ILW caverns in different host rocks [November 2008]

NAB 08-48 Arbeitsbericht Nagra: Felsmechanische Eigenschaften möglicher Wirtgesteine für geologische Tiefenlager [Dezember 2008]

NAB 09-07 Arbeitsbericht Nagra: Standortunabhängige Grundlagen Anlagen und Betrieb SGT-ZE / SUG 2.3 Alternatives Ausbaukonzept („Liner concept“) für BE/HAA-Lagerstollen [Entwurf Juli 2009]

NAB 09-29 Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1: Fragen des ENSI und seiner Experten und zugehörige Antworten der Nagra, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2010

**SIA-Normen:**

SIA-Norm 198/2004 Untertagebau Ausführung (SN 531 198)

SIA-Norm 199 Erfassen des Gebirges im Untertagebau (Beschreibung des Gebirges / Beurteilung des Gebirges / Geologische, hydrogeologische und geotechnische Berichte Empfehlung Ausgabe 10/1998 [SN 531 199])



**Suva-Richtlinien:**

SUVA Juli 2002

Grundlage zur Charakterisierung der Erdgasgefährdung bei Untertagebauten (Bulletin angewandte Geologie)

---

**Abkürzungsverzeichnis**

---

BD	Tonsteinabfolge „Brauner Dogger“
BFE	Bundesamt für Energie
BS	Bewertungsskala
EFF	Effinger Schichten
EG	einschlusswirksamer Gebirgsbereich
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
HAA	hochaktive Abfälle
HEL	Mergel-Formationen des Helvetikums
LMA	langlebige mittelaktive Abfälle
MA	Mindestanforderungen
MG	Mergel-Formationen
MPa	Mega Pascal (1 MPa = 1 N/mm <sup>2</sup> oder 1'000 kN/m <sup>2</sup> )
m u.T.	Meter unter Terrain
N	Nord
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NAB	Nagra Arbeitsbericht
NIB	Nagra interner Bericht
NTB	Nagra technischer Bericht
O	Ost
S	Süd
SGT	Sachplan Geologische Tiefenlager
SJ	Subjurassische Zone
SMA	schwach- und mittelaktive Abfälle
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungs Anstalt
OPA	Opalinuston
TJ	Tafeljura
TJ s.str	Tafeljura sensu stricto
USM	Untere Süsswassermolasse
VA	Verschärfte Anforderungen
VZ	Vorfaltenzone
W	West
WG	Wirtgestein

ENSI 33/068

**Herausgeber:** Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), CH-5200 Brugg  
Telefon +41(0)56 460 84 00, Telefax +41(0)56 460 84 99

**Zu beziehen bei:** Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Informationsdienst, Industriestrasse 19, CH-5200 Brugg  
oder per E-Mail [Infodienst@ensi.ch](mailto:Infodienst@ensi.ch)  
Abrufbar unter [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)